



Universidade de Aveiro

Departamento de Engenharia Mecânica

2010

**Márcio André
Figueiredo Coelho**

Modelação Numérica de Incidentes de Tráfego Rodoviário



**Márcio André
Figueiredo Coelho**

Modelação Numérica de Incidentes de Tráfego Rodoviário

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha namorada
e família pelo incansável apoio.

O júri

Presidente

Professor Doutor Francisco Malheiro Queirós de Melo

Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Aveiro

Orientadora

Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professora Auxiliar convidada do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da
Universidade de Coimbra

Agradecimentos

O presente trabalho resulta do meu esforço pessoal, em que a colaboração que me foi prestada assumiu um papel importante, por isso, gostaria de aqui expressar o meu reconhecimento e sinceros agradecimentos a todos que me ajudaram a realizar este objectivo pessoal.

Assim, começaria por agradecer à Professora Doutora Margarida Coelho, pela partilha de conhecimentos, pela sua amizade, dedicação e disponibilidade, pelo auxílio prestado ao longo desta Dissertação.

Aos meus amigos pela colaboração e apoio dado durante a elaboração deste trabalho. Em especial ao meu amigo Ivo Costa pela disponibilidade e prontidão total que demonstrou no auxílio do trabalho de campo e recolha de dados.

À minha Família, pela forma como me acompanharam e motivaram para a conclusão de mais uma etapa da minha formação. Em especial ao Sr. José Maia e ao meu avô, que sempre me apoiaram e que se hoje estivessem entre nós, estariam com certeza muito felizes e orgulhosos por esta conclusão de Dissertação de Mestrado.

Finalmente, um agradecimento muito especial à minha namorada Rita Maia, pelo carinho e amizade, paciência e incondicional apoio que sempre demonstrou. Muito obrigado pelas conversas e palavras de coragem nos momentos menos bons, bem como a força transmitida.

A todos, o meu OBRIGADO.

Palavras-chave

Incidentes, emissões, consumo, veículos, tráfego, congestionamento.

Resumo

Os transportes são uma componente essencial da economia europeia, contudo, este sector é responsável pelo aumento das emissões e dos consumos de combustível de ano para ano. O aumento de fluxo de tráfego rodoviário urbano conduz ao fenómeno de congestionamento, com inúmeras consequências prejudiciais em termos de saúde, poluição e segurança. O congestionamento urbano é uma fonte de custos elevados em termos de atrasos e de aumentos do consumo de combustíveis, e além disso, também exerce sobre os transportes colectivos de passageiros uma ineficiência na sua qualidade de serviço. Os incidentes de tráfego são uma das principais causas destes congestionamentos, sendo eventos que interrompem o fluxo normal de tráfego rodoviário, como por exemplo, acidentes, estacionamento em segunda fila, entre outros, podendo estes incidentes igualmente influenciar os modos de condução.

O presente trabalho consiste numa previsão do desempenho do tráfego e respectivas emissões poluentes e consumos de combustível decorrentes da ocorrência de incidentes. O caso de estudo consistiu na Avenida Dr. Lourenço Peixinho, em Aveiro. Além desta previsão, ainda foram estudadas alternativas para evitar estes incidentes.

A metodologia utilizada foi baseada num modelo de simulação microscópica de tráfego rodoviário, designado por VISSIM, onde se efectuou as simulações de tráfego dos diversos cenários realizados.

Os resultados obtidos através das simulações demonstram que os incidentes são geradores naturais de emissões e de consumos de combustível, além de criarem modos de condução mais agressivos. Por exemplo, no estudo da ocorrência de incidentes nas duas faixas de rodagem da Avenida, da hora de vazio para hora de ponta existe um acréscimo a nível de emissões e de consumo de combustível na ordem dos 35%, o que evidencia a problemática da existência de incidentes. É ainda, evidenciado neste trabalho que os incidentes próximos de vias adjacentes são mais prejudiciais do que incidentes que estejam localizados numa via sem vias adjacentes. Além disso, dependendo dos incidentes existentes nas faixas de rodagem da Avenida, as emissões e o consumo podem aumentar na ordem dos 60%. Por outro lado, as alternativas, como a Via Única para autocarros e o Sistema de Gestão de Incidentes demonstraram resultados positivos.

Keywords

Incidents, emissions, consumption, vehicles, road traffic, congestion.

Abstract

Road transportation is an essential component of the European economy. However, this sector is responsible for the increase of emission and fuel consumption from year to year. The increase of urban road traffic flow leads to congestion, and has several harmful consequences in terms of health, pollution and safety. The urban congestion generates high costs in terms of delays and also increases fuel consumption. Furthermore it also creates inefficiency in terms of public transportation services. Traffic incidents are the main cause of congestion, and these events disrupt the normal flow of traffic, e.g. accidents, second lane parking, among others. These incidents may also influence the driving modes.

This work has the main objective of analyzing traffic performance pollutant emissions and fuel consumption from the occurrence of road incidents. The case study developed was made on “Avenida Dr. Lourenço Peixinho”, in Aveiro. Beyond this prediction, some alternatives were studied to avoid these incidents.

The methodology was based on a microscopic road traffic simulation model, designated VISSIM.

The results obtained throughout these simulations show that incidents are generators of emissions and fuel consumption, since they generate more aggressive driving modes. For example, two lanes of the avenue, from non-peak hour to peak hour there is an increase on the level of emissions and fuel consumption of about 35%. It is evidenced in this work that incidents nearby adjacent lanes are worse in terms of fuel consumption and emissions than incidents located in a roadway without adjacent lanes. Also, depending on the occurring incidents on the lanes, there can be an increase of emissions and fuel consumption of 60%. On the other hand, the alternatives studied, as the only way to bus and Intelligent Transportation Systems showed positive results.

Índice

Índice de Figuras	X
Índice de Quadros	XV
1 Introdução	1
1.1 Transportes e Desafios Ambientais	1
1.2 Congestionamento urbano e Incidentes	3
1.3 Objectivos	3
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2 Revisão Bibliográfica.....	5
3 Simulação de Tráfego Rodoviário	9
3.1 Introdução	9
3.2 Modelos de Simulação de Tráfego	9
3.3 Modelação de Incidentes.....	11
4 Metodologia	13
4.1 Modelo de Simulação Microscópica VISSIM	15
4.1.1 Base de dados para simulação.....	16
4.1.2 Rede de Tráfego Rodoviário.....	22
4.1.3 Regras de Trânsito	27
4.1.4 Dados de Saída.....	31
4.2 Caso de Estudo.....	31
4.3 Recolha de dados reais e Trabalho de campo	35
4.4 Cenários e Alternativas	41
4.4.1 Cenário Base	42
4.4.2 Cenário 1	48
4.4.3 Cenário 2.....	49
4.4.4 Cenário 3.....	49
4.4.5 Cenário 4.....	50

4.4.6 Cenário 5.....	50
5 Resultados e Discussão	53
5.1 Cenário 1	53
5.1.1 Emissões e Consumos por veículo.....	53
5.1.2 Emissões e Consumo médio	55
5.2 Cenário 2.....	59
5.2.1 Emissões e Consumo por veículo	59
5.2.2 Emissões e Consumo médio	61
5.3 Cenário 3.....	66
5.3.1 Emissões e Consumo por veículo	66
5.3.2 Emissões e Consumo médio	68
5.4 Cenário 4.....	73
5.4.1 Emissões e Consumo por veículo	73
5.5 Cenário 5.....	75
5.5.1 Emissões e Consumo por veículo	75
6 Conclusão e trabalho futuro	79
7 Referências.....	83
8 Anexos	87
8.1 Anexo A.....	88
8.2 Anexo B	91
8.3 Anexo C	92
8.4 Anexo D.....	93
8.5 Anexo E	97
8.6 Anexo F.....	99
8.7 Anexo G.....	101
8.8 Anexo H.....	102

Índice de Figuras

Figura 1 – Emissões GEE na UE-27, por sector (1990=100) [adaptado 1].....	2
Figura 2 – Contribuição relativa do sector dos transportes para as emissões dos principais poluentes e para a quota de utilização de energia, em Portugal e na UE-27, 2006. [3].....	2
Figura 3 – Classificação dos modelos quanto à forma de abordagem. [adaptado 18].....	10
Figura 4 – Fluxograma.....	14
Figura 5 – Distribuição da aceleração para um automóvel ligeiro [25].	17
Figura 6 – Distribuição de velocidade para um veículo ligeiro [24].	18
Figura 7 – Lógica do modelo de análise microscópica de veículo a veículo desenvolvido por <i>Wiedemann</i> [adaptado de 24].....	19
Figura 8 – Mudança de faixa com os intervalos de desaceleração máxima e aceitável e respectiva taxa de redução [adaptado 24] 21	
Figura 9 – Exemplo de uma rede simples na vista normal [24].	22
Figura 10 – Exemplo de uma rede simples na vista dos eixos centrais [24].	23
Figura 11 – Exemplo de uma rota com várias ramificações [24].	25
Figura 12 – Linha de paragem (barra vermelha) e marcador de conflito (barra verde) [24].	27
Figura 13 – Exemplo da aplicação da regra de prioridade quando o tempo mínimo de decisão é menor do que o tempo instantâneo de decisão [adaptado 24].	28
Figura 14 - Exemplo da aplicação da regra de prioridade quando o tempo mínimo de decisão é maior do que o tempo instantâneo de decisão [adaptado 24].	29
Figura 15 – Área de conflito.	30
Figura 16 – Localização do distrito de Aveiro no mapa de Portugal [27].	31
Figura 17 - Avenida Dr. Lourenço Peixinho [27].	32
Figura 18 - Estacionamentos em segunda fila na Avenida Dr. Lourenço Peixinho.	33
Figura 19 – Imagem de satélite do caso em estudo. [29].	34
Figura 20 – Imagem de satélite com a visualização da ALP em estudo e indicação dos locais de entrada de tráfego por respectivos números. [32]	35
Figura 21 – Evolução do volume de tráfego horário na Rotunda Ponte Praça no dia em análise [30].	36
Figura 22 - Evolução do volume de tráfego horário na Rotunda de Esgueira no dia em análise [30].	37
Figura 23 - Evolução do volume de tráfego horário na Rotunda do Oita no dia análise [30].	37
Figura 24 – Distribuição da tipologia de tráfego na hora de ponta em estudo [30].	38
Figura 25 – Distribuição da tipologia de tráfego na hora de vazio normal em estudo [30].	38
Figura 26 – MobPharos GPS loggerBracelet CM0609 [35]	40
Figura 27- Imagem da área em estudo, com indicação das coordenadas percorridas pelo GPS [32].	41

Figura 28 – Ajuste de uma área/segmento real do website SIG para o modelo virtual no VISSIM [28].	43
Figura 29 – Modelação das faixas de rodagem.	44
Figura 30 – Criação dos parâmetros de configuração de um novo veículo designado por “Van”.	45
Figura 31 – Trajecto Estação – ALP percorrido exclusivamente pelos autocarros, com as correspondentes paragens de autocarros (pista a vermelho).	46
Figura 32 - Trajecto ALP – Estação percorrido exclusivamente pelos autocarros, com as correspondentes paragens de autocarros (pista a vermelho).	46
Figura 33 – Parâmetro de configuração da quantidade de autocarros e do tempo de entrada de cada um durante a simulação.	46
Figura 34 – Janela do parâmetro Link Evaluation.	47
Figura 35 – Localização e ordenação dos incidentes simulados no sentido ALP - Estação.	48
Figura 36 – Localização e ordenação dos incidentes simulados no sentido Estação – ALP.	49
Figura 37 – Localização e ordenação de incidentes nos sentidos ALP – Estação e Estação – ALP.	50
Figura 38 – Acidente (azul) na faixa de rodagem no sentido ALP – Estação e desvio alternativo (amarelo) indicada por um painel de mensagem variável.	51
Figura 39 – Emissões de CO por veículo versus aumento do número de incidentes.	53
Figura 40 – Emissões de CO ₂ por veículo versus aumento do número de incidentes.	54
Figura 41 - Emissões de HC por veículo versus aumento do número de incidentes.	54
Figura 42 - Emissões de NO _x por veículo versus aumento do número de incidentes.	54
Figura 43 – Consumo de combustível por veículo versus aumento do número de incidentes.	55
Figura 44 – Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	56
Figura 45 – Emissões médias de CO ₂ para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	56
Figura 46 – Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	56
Figura 47 – Emissões médias de NO _x para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	57
Figura 48 – Consumo médio para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	57
Figura 49 – Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	58
Figura 50 - Emissões médias de CO ₂ para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	58
Figura 51 – Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	58
Figura 52 - Emissões médias de NO _x para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	59
Figura 53 – Consumo médio para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	59
Figura 54 - Emissões de CO por veículo versus aumento do número de incidentes.	60
Figura 55 - Emissões de CO ₂ por veículo versus aumento do número de incidentes.	60
Figura 56 - Emissões de HC por veículo versus aumento do número de incidentes.	60

Figura 57 - Emissões de NO _x por veículo versus aumento do número de incidentes.	61
Figura 58 – Consumo de combustível por veículo versus aumento do número de incidentes.	61
Figura 59 – Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	62
Figura 60 - Emissões médias de CO ₂ para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	62
Figura 61 - Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	62
Figura 62 - Emissões médias de NO _x para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	63
Figura 63 – Consumo médio para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.	63
Figura 64 - Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	64
Figura 65 - Emissões médias de CO ₂ para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	64
Figura 66 - Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	64
Figura 67 - Emissões médias de NO _x para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	65
Figura 68 - Consumo médio para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.	65
Figura 69 - Emissões de CO por veículo versus aumento do número de incidentes.	66
Figura 70 - Emissões de CO ₂ por veículo versus aumento do número de incidentes.	66
Figura 71 - Emissões de HC por veículo versus aumento do número de incidentes.	67
Figura 72 - Emissões de NO _x por veículo versus aumento do número de incidentes.	67
Figura 73 – Consumo de combustível por veículo versus aumento do número de incidentes.	67
Figura 74 - Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazio normal.	68
Figura 75 - Emissões médias de CO ₂ para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazio normal.	68
Figura 76 - Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazio normal.	69
Figura 77 - Emissões médias de NO _x para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazio normal.	69
Figura 78 - Consumo de combustível médio para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazio normal.	69
Figura 79 - Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.	70
Figura 80 - Emissões médias de CO ₂ para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.	71
Figura 81 - Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.	71
Figura 82 - Emissões médias de NO _x para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.	71
Figura 83 - Consumo de combustível médio para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.	72
Figura 84 – Emissões de CO por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como de ponta.	73
Figura 85 - Emissões de CO ₂ por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como de ponta.	73
Figura 86 - Emissões de HC por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como de ponta.	74

Figura 87 - Emissões de NO _x por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazão normal como de ponta.	74
Figura 88 – Consumo de combustível por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazão normal como de ponta.	74
Figura 89 – Emissões de CO por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazão normal como em hora de ponta.	76
Figura 90 - Emissões de CO ₂ por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazão normal como em hora de ponta.	76
Figura 91 - Emissões de HC por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazão normal como em hora de ponta.	76
Figura 92 - Emissões de NO _x por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazão normal como em hora de ponta.	77
Figura 93 – Consumo de combustível por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazão normal como em hora de ponta.	77
Figura 94 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	102
Figura 95 - Emissões médias de CO ₂ com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	103
Figura 96 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	103
Figura 97 - Emissões médias de NO _x com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	104
Figura 98 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	104
Figura 99 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de ponta.	105
Figura 100 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de ponta.	105
Figura 101 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de ponta.	106
Figura 102 - Emissões médias de NO _x com vários incidentes representados na hora de ponta.	106
Figura 103 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de ponta.	107
Figura 104 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	107
Figura 105 - Emissões médias de CO ₂ com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	108
Figura 106 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	108
Figura 107 - Emissões médias de NO _x com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	109
Figura 108 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	109
Figura 109 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de ponta.	110
Figura 110 - Emissões médias de CO ₂ com vários incidentes representados na hora de ponta.	110
Figura 111 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de ponta.	111
Figura 112 - Emissões médias de NO _x com vários incidentes representados na hora de ponta.	111
Figura 113 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de ponta.	112
Figura 114 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	113
Figura 115 - Emissões médias de CO ₂ com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	113
Figura 116 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de vazão normal.	114

Figura 117 - Emissões médias de NO _x com vários incidentes representados na hora de vazio normal.	114
Figura 118 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de vazio normal.	115
Figura 119 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de ponta.	115
Figura 120 - Emissões médias de CO ₂ com vários incidentes representados na hora de ponta.	116
Figura 121 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de ponta.	116
Figura 122 - Emissões médias de NO _x com vários incidentes representados na hora de ponta.	117
Figura 123 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de ponta.	117

Índice de Quadros

Quadro 1 – Calendarização do trabalho.	14
Quadro 2 - Dias em estudo da Rotunda da Ponte de Praça [30].	88
Quadro 3 - Dias em estudo da Rotunda de Esgueira [30].	88
Quadro 4 – Dias em estudo da Rotunda do Oita [30].	90
Quadro 5 – Quadro da contagem de tempo de abertura de cada fase de cada semáforo existente na ALP.	91
Quadro 6 – Valores médios de temporização dos sinais luminosos (criaram-se nomes para os sinais luminosos para auxílio da sua localização).	92
Quadro 7 - O número de autocarros que percorrem ALP, no sentido ALP – Estação CP, com respectiva taxa de ocupação e contagem de entrada/saída de passageiros em cada paragem ao longo da mesma na hora de vazio normal.	93
Quadro 8 - O número de autocarros que percorrem ALP, no sentido Estação CP – ALP, com respectiva taxa de ocupação e contagem de entrada/saída de passageiros em cada paragem ao longo da mesma na hora de vazio normal.	94
Quadro 9 – O número de autocarros que percorrem ALP, no sentido ALP – Estação CP, com respectiva taxa de ocupação e contagem de entrada/saída de passageiros em cada paragem ao longo da mesma na hora de ponta.	95
Quadro 10 - O número de autocarros que percorrem ALP, no sentido Estação CP – ALP, com respectiva taxa de ocupação e contagem de entrada/saída de passageiros em cada paragem ao longo da mesma na hora de ponta.	96
Quadro 11 – Escolha de rotas (em percentagem) dos veículos, em hora de vazio normal e em hora de ponta.	97
Quadro 12 – Velocidades e desacelerações dos locais em estudo (cruzamentos ou rotundas).	99
Quadro 13 – Percentagem de cada tipo de veículos que são inseridos na rede de tráfego através das três entradas acima consideradas em hora de vazio normal	101
Quadro 14 – Percentagem de cada tipo de veículos que são inseridos na rede de tráfego através das três entradas acima consideradas em hora de ponta.	101

1 Introdução

1.1 Transportes e Desafios Ambientais

Os transportes garantem uma liberdade de acção à população, que lhes permite desenvolverem de maneira mais eficaz as suas actividades rotineiras [1]. Porém, os transportes são um sistema complexo que depende de múltiplos factores, designadamente os modelos de habitats humanos e de consumo, a organização da produção e a disponibilidade de infra-estruturas. Devido a esta complexidade, qualquer intervenção no sector dos transportes deve basear-se numa visão a médio e longo prazo da mobilidade sustentável das pessoas e dos bens, tanto mais que as políticas estruturais levam tempo a ser aplicadas e devem ser planeadas com a devida antecedência [1].

Os transportes são igualmente uma componente essencial da economia europeia. O sector dos transportes, no seu conjunto, equivale a cerca de 7% do produto interno bruto (PIB) e mais de 5% do emprego total na União Europeia (UE). A política europeia de transportes contribuiu para um sistema de mobilidade equiparável, em termos de eficiência e de eficácia, ao das regiões do mundo economicamente mais avançadas. Esta política vem favorecer a coesão social e económica e promover a competitividade da indústria europeia [1].

De dia para dia, os transportes têm vindo a assumir uma importância crescente no modo de vida da sociedade actual, evidenciada pelo grande aumento do volume de tráfego rodoviário. Com especial relevo nos grandes centros urbanos, sendo esse ritmo de crescimento mais rápido do que os progressos realizados na eficiência energética dos diversos meios de transporte.

Este facto tem contribuído para um aumento das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) e para o agravamento do aquecimento global, provocando a destabilização nos processos ecológicos de apoio ao planeta.

O Protocolo de Quioto e a Convenção do Quadro das Nações Unidas sobre alterações climáticas (UNFCCC, na sigla inglesa) são os instrumentos de referência no combate às alterações climáticas a nível global. A UE e seus Estados-membros ratificaram o Protocolo de Quioto em 2002, comprometendo-se, no seu conjunto, a uma redução das emissões GEE de 8%, no período 2008-2012 comparativamente com o ano de 1990 [2].

Segundo dados da Agência Europeia do Ambiente, os transportes representam cerca de um quarto (23,8%) das emissões totais de GEE e aproximadamente o mesmo valor (27,9%) do total das emissões de CO₂ na UE-27 em 2006. Em comparação com os níveis de 1990, nenhum outro sector tem a taxa de crescimento das emissões de GEE tão elevada como o sector dos transportes, conforme mostra a Figura 1 [1].

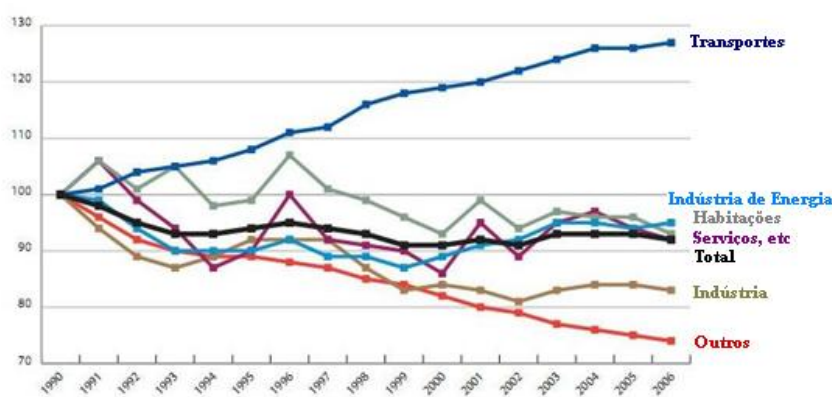


Figura 1 – Emissões GEE na UE-27, por sector (1990=100) [adaptado 1].

Actualmente a actividade dos transportes constitui uma variável chave em qualquer estratégia de controlo da situação ambiental. Esta importância advém quer dos impactos mensuráveis que o sector exerce no ambiente, quer da natureza da própria actividade que é de elevada intensidade energética [3].

Esta relevância é comprovada no gráfico seguinte (Figura 2), onde se evidencia a contribuição relativa do sector dos transportes para as emissões dos principais poluentes (GEE e CO₂) e para a quota de utilização de energia, em Portugal e na UE-27, no ano de 2006 [3].

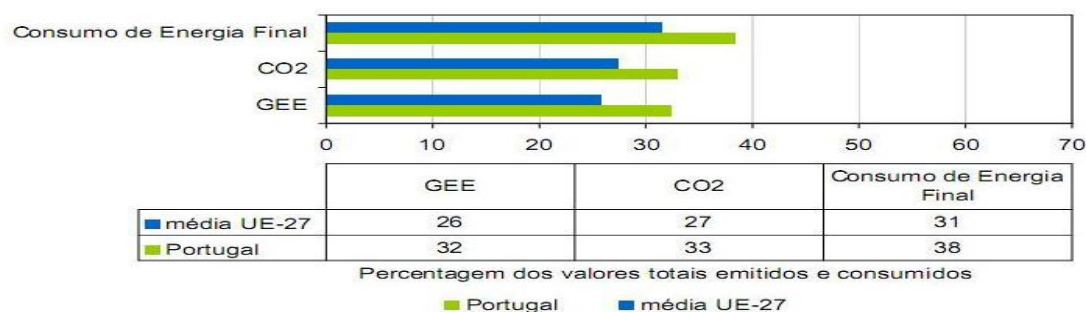


Figura 2 – Contribuição relativa do sector dos transportes para as emissões dos principais poluentes e para a quota de utilização de energia, em Portugal e na UE-27, 2006. [3]

Os três parâmetros acima descritos situam-se em níveis nitidamente superiores aos da média da UE-27, e revelam uma situação muito preocupante para o ambiente, para a economia, e para a saúde da população.

Tendo presente este tipo de relações entre os transportes e o ambiente, é necessário proceder à elaboração de uma estratégia de implementação de medidas que visem a adaptação do sector dos transportes no cumprimento das metas do Protocolo de Quioto.

1.2 Congestionamento urbano e Incidentes

Na União Europeia, mais de 60% da população vive em zonas urbanas. Quase 85% do PIB da UE é criado nessas mesmas zonas. As vilas e cidades são os motores da economia Europeia, atraem investimento e emprego e são indispensáveis ao dinamismo da mesma. [4].

Em toda a Europa, o aumento do tráfego no centro das cidades conduz a um fenómeno de congestionamento crónico, com inúmeras consequências nefastas em termos de tempo perdido e de poluição. A economia europeia perde anualmente cerca de 100 mil milhões de euros, ou seja, 1% do PIB da UE, devido a este fenómeno [4].

O congestionamento frequente nas aglomerações, e nas respectivas vias de acesso, é fonte de custos elevados em termos de tempo dispensado e de aumento do consumo de combustíveis. Uma vez que a maioria dos serviços de transporte de mercadorias e de passageiros começa ou acaba em zonas urbanas, o congestionamento destas áreas urbano exerce igualmente um impacto negativo nos transportes interurbanos [1]. Nomeadamente, o congestionamento causado por incidentes de tráfego é um problema crítico para qualquer área urbana [5].

Os incidentes de tráfego são eventos que interrompem o fluxo normal de tráfego rodoviário, como por exemplo, colisões de veículos, avarias, estacionamento em segunda fila, etc. Além do bloqueio de estradas, esses mesmos incidentes podem influenciar o fluxo de tráfego devido à dispersão da atenção dos condutores conduzindo a mudanças de comportamentos de condução [6].

Deste modo, o impacto crescente de incidentes de tráfego, não só prejudica a mobilidade, mas também pode ser uma das principais causas de estrangulamento ou mesmo de acidentes. Alguns estudos revelam que o congestionamento de tráfego devido à ocorrência de incidentes impõe atrasos frustrantes para os utilizadores da estrada e continua a ser uma tendência crescente num futuro próximo [5].

1.3 Objectivos

Tendo em conta tudo o que foi referido anteriormente, o objectivo primordial da presente Dissertação de Mestrado consistiu no estudo do desempenho do tráfego, consumos e emissões que resultam da ocorrência de incidentes, numa determinada faixa ou via rodoviária.

Com este trabalho, foi possível encontrar algumas soluções que tenha em consideração, os impactos no tráfego, qualidade de serviço, segurança, consumos e emissões. A aplicação deste trabalho será focalizada na Avenida Dr. Lourenço Peixinho, na cidade de Aveiro. Para explorar este tema, o trabalho desenvolvido centrar-se-á na utilização de um software de modelação e simulação microscópica de tráfego designado por VISSIM (desenvolvido pela PTV AG).

Como forma de iniciar este estudo, foi necessário desenvolver as seguintes fases:

- Modelar e implementar a rede gráfica no VISSIM;
- Definir cenários a serem avaliados no simulador;
- Configurar os parâmetros de modelação e simulação para os mesmos;
- Executar simulações de modo a avaliar os resultados e comprovar a aplicabilidade da ferramenta proposta.

1.4 Estrutura da Dissertação

A Dissertação de Mestrado proposta está organizada em sete capítulos:

No capítulo 1 é analisado o sector dos transportes, estudando-se, o perfil ambiental, com especial atenção ao consumo energético e às emissões de GEE. Seguidamente, no capítulo 2, é efectuada uma revisão bibliográfica detalhada acerca da modelação de incidentes, nomeadamente com a utilização do modelo de micro-simulação VISSIM e das emissões de GEE.

Na terceira parte deste trabalho, é feita uma descrição prévia dos vários tipos de modelos de simulação de tráfego existente, com maior realce no modelo microscópico em estudo, VISSIM. Também se realiza uma exposição dos tipos de incidentes existentes e as consequências destes, para o fluxo de tráfego.

No capítulo 4 é descrita a metodologia utilizada, com especial ênfase nas características principais do modelo de simulação microscópico e na descrição detalhada do caso em estudo. São também descritas as problemáticas deste estudo, o trabalho de campo realizado e os respectivos cenários e alternativas a serem testados no micro-simulador.

A apresentação dos resultados é feita no capítulo 6. Estes resultados são discutidos e analisados individualmente, tendo em conta cada um dos cenários propostos. A análise efectuada tem por base as emissões e o consumo de combustível. Alguns tipos de soluções a serem implementadas na área em análise foram igualmente estudados.

Por último, no capítulo 7 são retiradas as conclusões e são feitas sugestões para possíveis trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica incide sobre a modelação de incidentes, sobre as aplicações do modelo numérico de micro-simulação VISSIM na modelação dos mesmos.

A modelação de incidentes tornou-se essencial na gestão de tráfego rodoviário devido ao facto de existirem inúmeros problemas nesta área, tanto ao nível de fluxos de tráfego como de emissões de GEE. A utilização de modelos de simulação numérica é de grande utilidade na criação de uma reprodução do processo real, uma vez que estes modelos conjugam a imaginação com a simulação. A simulação numérica, cria um sistema no qual a relação causa - efeito é imaginada e comparada com a realidade. Existem vários tipos de modelos microscópicos, tais como o VISSIM, PARAMICS, CORSIM, FRESIM, entre outros. É de referir que muitos estudos foram realizados neste âmbito para resolução dos problemas supracitados.

O trabalho de Koorey et al. [7] teve como objectivo a investigação de medidas de sistemas inteligentes de transportes (ITS) (como, por exemplo, painéis de mensagem variável (VMS)), que podem ser usados para determinar as estratégias mais eficazes de gestão de tráfego a aplicar quando são detectados incidentes. Verificou-se que apesar da sofisticação das técnicas de detecção automática de incidentes nas redes de tráfego, estas medidas na realidade têm um uso limitado. Por outro lado, existe ainda uma variabilidade na eficácia do uso de sistemas de informação aos condutores, como o VMS, que redireccionam os mesmos para rotas alternativas devido a incidentes.

Fries et al. [8] pretendeu analisar a eficácia do uso de câmaras de tráfego em cinco locais na Carolina do Sul, usando o software de tráfego PARAMICS, para simular diversos cenários de incidentes de tráfego. Após a selecção dos locais de estudo, os autores seleccionaram este software devido a uma série de factores. Com esta investigação, têm-se a justificação de que a implantação de câmaras de tráfego na Carolina do Sul é um instrumento muito valioso na detecção e redução de incidentes ao longo das vias e que o custo da implantação das mesmas é mínimo em relação aos seus benefícios.

Por sua vez, Sheu [9] apresentou uma abordagem de estimativa estocástica para a previsão em tempo real dos atrasos e comprimento das filas, que são duas variáveis significativas na análise dos incidentes de tráfego na auto-estrada. A previsão em tempo real dos incidentes de tráfego na via rodoviária é absolutamente necessária para o desenvolvimento de avançados sistemas de gestão de tráfego. Devido à falta de dados reais de tráfego de incidentes, o modelo proposto foi testado com dados simulados, usando o modelo de simulação microscópica CORSIM. Os resultados deste estudo mostraram as potencialidades da abordagem no desenvolvimento de tecnologias relacionadas, com o incidente em tempo real, com sistemas de gestão de tráfego de resposta automática e sistemas de alerta de congestionamento rodoviário.

Mussa et al. [10] investigou a detecção de incidentes na estrada por parte dos condutores. Foi desenvolvido um modelo analítico para avaliar a detecção de incidentes pelos condutores que utilizam tecnologias avançadas de comunicação. Um modelo de simulação numérica designado por FRESIM foi utilizado para gerar os dados espaciais e temporais para os condutores que chegam próximo de um incidente após a ocorrência do mesmo. Em suma, as análises de simulação revelam o potencial dos condutores que utilizam tecnologias avançadas de comunicação para relatar incidentes ocorridos nas estradas. Os

resultados numéricos mostraram que, o crescimento contínuo de existência dos dispositivos de comunicação nos veículos aumentou o desempenho da detecção de incidentes.

Chatterjee et al. [11] refere que a avaliação dos impactos do tráfego nas zonas de obras é vital para qualquer agência de transportes para um melhor planeamento da ocorrência das mesmas. Os impactos do tráfego nessas zonas podem ser simulados, usando modelos de simulação microscópica. O tema central do estudo consistiu sobre a utilização desse modelo de simulação microscópica para essas zonas de obras. Este estudo proporcionou ao utilizador um método simples para escolha adequada de valores para os parâmetros de comportamento de condução do VISSIM, de forma a coincidir com a capacidade de tráfego pretendida para essa zona de ocorrência de possíveis obras.

Por seu lado, Halkias et al. [12] identifica que todos os pontos de estrangulamento e congestionamento de tráfego estão familiarizados intimamente a percursos como as auto-estradas. Para a simulação deste estudo foram utilizados dois softwares de simulação microscópica, Integration e o VISSIM. Sem dúvida que o ponto-chave da análise é o desenvolvimento de cenários alternativos e como estes cenários podem melhorar as condições de tráfego na área de estudo. As restrições geométricas e alterações a nível da procura são causas comuns de pontos de estrangulamento nas auto-estradas; alguns desses pontos de estrangulamento são passíveis de serem resolvidos com um custo relativamente baixo e neste estudo, tanto o Integration como o VISSIM funcionaram bem e exigiram um esforço de calibração relativamente baixo, sendo estas as principais conclusões deste relatório.

Qin e Smith [13] concentraram-se no estudo abrangente sobre o impacto dos incidentes, com base no fluxo de tráfego e dados de incidentes para a região Hampton Roads, na Virgínia. Um estudo efectuado em 1970, estima que um acidente ou um veículo com deficiência, bloqueando uma via de três faixas de rodagem, irá reduzir o fluxo de tráfego em média cerca de 50%, e um acidente que bloqueie duas vias de três faixas de rodagem, irá reduzir o fluxo de tráfego em média de 79%.

Finalmente, o estudo elaborado por Dia e Cottman [14] visou a demonstração da viabilidade da utilização de simulação microscópica de tráfego para avaliação dos impactos a curto prazo da implantação de sistemas e serviços inteligentes de transportes (ITS). Para realizar esta abordagem, foi seleccionado o simulador numérico microscópico PARAMICS, que foi calibrado e validado para um segmento específico de estrada em Brisbane, Austrália. Uma série de cenários de simulação foram efectuados, utilizando este modelo para avaliar os impactos dos incidentes sobre o desempenho do tráfego, consumo de combustível e emissões de GEEs. Em suma, a calibração do modelo e validação dos resultados, com base em dados reais, apresentou um bom grau de confiança na precisão do modelo e na sua adequada utilização para o uso neste tipo de avaliação. Os resultados da modelação de incidentes indicam uma redução da velocidade média entre 29 e 36% devido a um incidente que dure 60 minutos e que ocorra numa única faixa de rodagem. Os tempos de viagem foram igualmente afectados, com aumento entre 11 a 13 % para uma única faixa rodoviária e 51% para uma dupla faixa de rodagem. Uma estratégia de gestão de incidentes pode reduzir a duração de um incidente em todas as vias em cerca de 15 a 30 minutos e poderá fornecer uma redução de cerca de 17% no tempo das viagens. Os benefícios ambientais também foram significativos, mostrando uma taxa de redução de 20% nas emissões de CO₂ e cerca de 22% no consumo de combustível. O fornecimento de

informação em tempo real durante a viagem também foi testado e pelo que aconselha os condutores a seguirem rotas alternativas. Os resultados mostraram que o fornecimento dessa informação durante a viagem permitiu um potencial de redução de tempos de viagem de cerca 5%.

Em suma, esta revisão bibliográfica revela que as investigações realizadas apresentam resultados que comprovam que a modelação de incidentes com apoio de modelos de simulação numéricos e tendo como objectivo a redução de emissões e consumos, é um factor cada vez mais relevante na actualidade científica. Contudo, e apesar deste último estudo conciliar os três tópicos acima supracitados, verifica-se uma inexistência de estudos que reúnam as três temáticas com utilização específica do modelo de simulação VISSIM que será abordado nesta Dissertação.

3 Simulação de Tráfego Rodoviário

Neste capítulo, será apresentado uma breve à introdução da simulação de tráfego rodoviário. De seguida serão expostos os três tipos de modelos de simulação de tráfego rodoviário. Por último, efectua-se uma introdução aos incidentes de tráfego rodoviário.

3.1 Introdução

O comportamento do sistema de tráfego pode ser estudado através de um modelo de simulação. Um modelo consiste numa apresentação, representação ou idealização de aspectos seleccionados da estrutura, comportamento ou outras características de um processo ou sistema do mundo real. A simulação é uma ferramenta eficiente para analisar uma grande variedade de problemas dinâmicos difíceis de ser resolvidos por outros meios. Esses problemas são complexos devido ao grande número de interacções simultâneas entre os vários componentes e entidades do processo [15].

Através da utilização de modelos matemáticos é possível simular situações reais, e criar a possibilidade de realização de um tipo de análise que só seria realizável através de sistemas reais. Portanto, existe a possibilidade de criar, avaliar e alterar cenários sem a necessidade de os implementar realmente [16]. A simulação é entendida como a “imitação” de uma operação ou de um processo do mundo real. Ele envolve a criação de uma “história artificial” para a análise das suas próprias características operacionais. O comportamento de um processo é estudado por meio de um modelo de simulação [15]. Uma das vantagens da simulação computacional, quando comparada com a experimentação directa num sistema real está relacionadas com o custo, sendo que é muito menos dispendioso realizar experiências em ambientes de simulação do que num sistema real. Outra vantagem prende-se com o risco, tanto material como humano, uma vez que este é inexistente num ambiente de simulação computacional. Além disso, a simulação permite reprodução de sistemas reais num tempo muito inferior àquele que seria dispendido caso a reprodução fosse realizada no mundo real [15].

Por outro lado, a complexidade da construção dos modelos, a dificuldade de interpretação dos resultados, o tempo, os recursos utilizados na modelação do sistema, a análise dos dados, a imprecisão e a dificuldade de validação são vistas como desvantagens da simulação [15].

Os objectivos principais da simulação como ferramenta de estudo são os seguintes:

- Proporcionar melhor compreensão sobre a natureza de um processo;
- Identificar problemas específicos ou pontos críticos dentro de um sistema;
- Testar projectos antes da sua implementação [17].

3.2 Modelos de Simulação de Tráfego

Para serem realizadas abordagens básicas com o intuito de analisar o tráfego rodoviário podem ser utilizados alguns tipos de modelos de simulação tais como: macroscópicos, mesoscópicos e microscópicos.

A Figura 3 apresenta uma relação entre estes tipos de modelos, o tamanho da rede possível de representação e o grau de detalhe possível da análise [18].

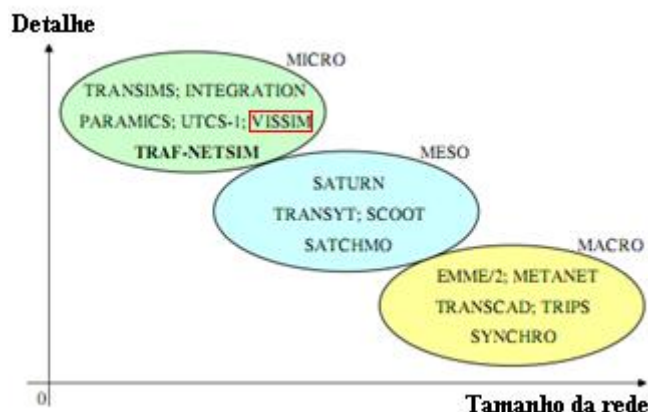


Figura 3 – Classificação dos modelos quanto à forma de abordagem. [adaptado 18]

Nos modelos macroscópicos todos os seus parâmetros são representados com um baixo nível de pormenor. Estes modelos são normalmente utilizados para análise do fluxo de tráfego. O tráfego é representado com um elevado nível de agregação, usando determinadas características tais como o fluxo ou taxa de ocupação, a densidade e a velocidade média. As manobras efectuadas por cada veículo, como por exemplo as mudanças de faixas de rodagem, não são representadas explicitamente [16]. Este tipo de modelo é encarado como contínuo e consideram-se apenas valores médios, ao invés de se tratar cada veículo como uma entidade individual [16].

Os modelos mesoscópicos integram aspectos dos modelos macro e dos modelos micro. Este tipo de modelo representa a maioria das entidades com um elevado nível de pormenor, mas descreve as suas actividades e interações com um nível de pormenor mais baixo [16]. Um modelo mesoscópico não distingue veículos individuais, mas especifica o comportamento individual através de condições probabilísticas [16].

A dinâmica destas distribuições é geralmente orientada por alguns processos que caracterizam o comportamento individual do condutor (por exemplo, aceleração, interacção entre veículos e mudança de faixa) [16].

O modelo de simulação microscópico descreve o comportamento individual das entidades do sistema (veículos), ao longo do tempo, e as suas interações com um nível de pormenor bastante elevado. Os componentes principais de um modelo de simulação de tráfego microscópico são:

- a representação precisa da geometria da rede de estradas;
- a modelação detalhada do comportamento individual dos veículos;
- a reprodução explícita do controlo e planeamento de tráfego [16].

A simulação microscópica é essencialmente utilizada para avaliação de cenários podendo, no entanto, ser utilizada em tempo real como uma parte intrínseca da operação do sistema para o controlo da rede de tráfego [16].

Esta avaliação de cenários tem como objectivos:

- Estudo do controlo dinâmico de tráfego;
- Avaliação de cenários de gestão de incidentes;
- Desenvolvimento de estratégias de orientação de rotas ou percursos em tempo-real;
- Estabelecimento de uma intersecção adaptativa de sinais de controlo;
- Controlo de ramais de acesso a faixas de rodagem;
- Implementação de sistemas de controlo de faixas de rodagem [16];

Os modelos de tráfego microscópicos, são ferramentas que simulam o fluxo real de veículos numa rede de vias de comunicação. A micro-simulação pode ser usada em paralelo com as operações nas vias de trânsito [16].

Existem vários modelos de simulação microscópica de tráfego de entre os quais se destacam aqueles que modelam o comportamento da aceleração. Neste caso incluem-se os modelos de análise microscópica de veículo a veículo (“car-following”), os modelos de fluxo livre (“free-flow”) e os que modelam o comportamento de mudança de faixa (“lane changing”) [16].

3.3 Modelação de Incidentes

Os incidentes de tráfego podem ser definidos como eventos não recorrentes que causam congestionamentos e atrasos, restringindo o normal fluxo de trânsito [19].

Com base nesta definição, os incidentes podem ser classificados em dois grupos: eventos previstos e aleatórios [19].

Eventos previstos incluem:

- Projectos de reconstrução e manutenção das estradas;
- Eventos especiais (por exemplo, actividades desportivas, concertos ou qualquer outro evento que afecte significativamente o tráfego rodoviário).

Eventos aleatórios incluem:

- Acidentes de trânsito;
- Veículos a condicionar o fluxo de tráfego (por exemplo, estacionamento em segunda fila);
- Situações de cargas e descargas;
- Catástrofes naturais [19].

Os incidentes de trânsito representam três preocupações:

- Redução da eficiência operacional da rede de transporte, causando atrasos significativos para os automobilistas;
- Aumento do risco de acidentes secundários;
- Afecção da segurança devido ao perigo crescente provocado por incidentes [20].

Os problemas relacionados com os incidentes não estão limitados a estas áreas, mas também incluem:

- Aumento do tempo de resposta da polícia, bombeiros e equipas médicas de emergência;
- Perdas de tempo, redução na produtividade e aumento do custo de bens e serviços;
- Maior consumo de combustível, redução da qualidade do ar e outros impactos ambientais adversos;
- Imagem pública negativa dos órgãos públicos envolvidos em actividades de gestão de incidentes [20].

4 Metodologia

A metodologia seguida neste trabalho, irá ser explicada com recurso ao fluxograma patente na Figura 4, bem como através da descrição das características do modelo microscópico utilizado, e a exposição do caso de estudo.

Na primeira fase deste trabalho, foi feita a análise do estado de arte do tema em questão, ou seja, foi feita a revisão bibliográfica sobre o panorama histórico e actual energético, tendo em conta as preocupações ambientais, com ênfase na área dos transportes. Foi, também, referido e explicado tudo o que se relaciona com a modelação e simulação do tráfego rodoviário, com especial foco na micro-simulação de tráfego e modelação de incidentes.

Seguidamente, foi efectuada uma recolha de dados reais. Posto isto, realizou-se uma breve introdução ao caso de estudo, e consequentemente efectuou-se a modelação e a simulação do mesmo. Criou-se um cenário base, para depois se poderem analisar cenários alternativos, resultantes de situações problemáticas que ocorrem no caso de estudo.

Os resultados obtidos na fase anterior são demonstrados na terceira e última fase deste trabalho, com ênfase no consumo de combustível e emissões poluentes, para as diferentes situações testadas. Analisou-se ainda, uma via única para autocarros comparativamente ao cenário base em termos de emissões, de modo a compreender quais os benefícios que esta medida pode acarretar. Por último, efectuou-se um cenário recorrendo a um sistema inteligente de transportes, de modo a utilizar-se este tipo de tecnologia para prever e resolver incidentes, diminuir o congestionamento e consequentemente as emissões poluentes e consumos de combustível.

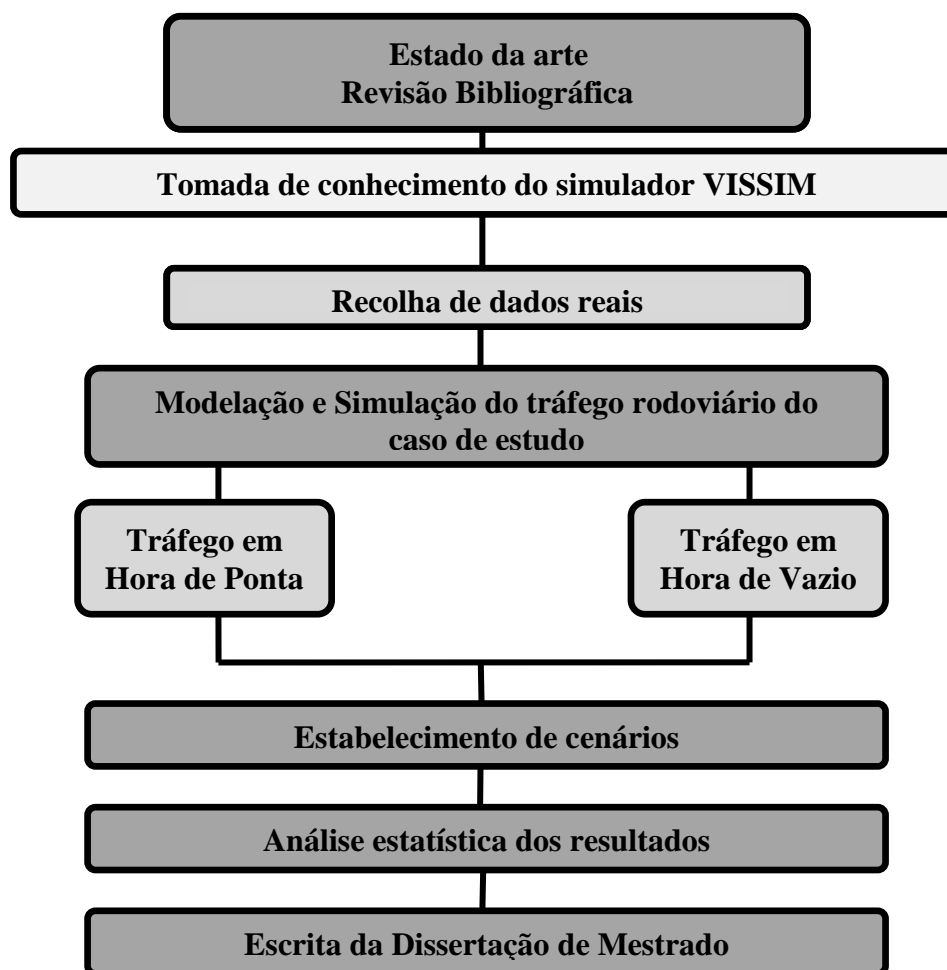


Figura 4 – Fluxograma

A calendarização seguida neste trabalho foi a seguinte.

Quadro 1 – Calendarização do trabalho.

	2010								
Tarefas	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Estado da arte / Revisão Bibliográfica									
Recolha de dados reais									
Simulação do Caso de Estudo e respectivos cenários									
Análise estatística dos resultados									
Escrita da Dissertação de Mestrado									

No capítulo seguinte, descreve-se em pormenor o modelo VISSIM, utilizado para a realização deste caso de estudo.

4.1 Modelo de Simulação Microscópica VISSIM

O VISSIM foi desenvolvido na década de 70 na Alemanha, pela Universidade Kalsruhe e começou a ser comercializado em 1993 pela Planung Transport Verkehr (PTV AG), tendo como versão mais recente a 5.20. É um modelo de micro-simulação que utiliza passos de tempo fixo para avanço da simulação, sendo constituído por dois componentes principais: o simulador e o gerador de sinal de estado (SGG). O primeiro gera o tráfego e é onde o utilizador constrói a rede gráfica e o segundo, analisa os impactos em termos das operações de sinal [21].

O modelo de fluxo de tráfego de VISSIM contém uma análise psico – física do modelo de análise microscópica de veículo a veículo em relação ao movimento longitudinal do veículo, e um algoritmo baseado na regra de mudança de faixa de rodagem. O modelo é fundamentado no trabalho contínuo de *Wiedemann* da Universidade de Kalsruhe, e posteriormente calibrado e validado pela PTV AG. O conjunto de análise microscópica de veículo a veículo e o algoritmo baseado na regra de mudança de faixa de rodagem formam o núcleo principal do modelo de fluxo de tráfego do VISSIM [22].

Este modelo permite a análise de fluxos de tráfego multi-modais, incluindo automóveis, camiões, autocarros, comboio e também ciclistas e peões [21].

É um programa que analisa as operações de veículos sob diferentes configurações, tais como a forma das vias de trânsito, a composição do tráfego, os sinais de trânsito e os transportes públicos. Certo é, que este programa se tornou uma ferramenta útil para avaliar o tráfego em redes alternativas, para o desenvolvimento da engenharia de transporte e o para o planeamento de medidas eficazes para resolução de problemas rodoviários [23].

A sua flexibilidade em termos de estrutura de rede proporciona ao utilizador a capacidade de modelação de todo o tipo de configuração geométrica e ainda, permite a modelação do comportamento de um condutor ou peão inseridos num dado sistema de transporte. As aplicações mais comuns do VISSIM são:

- Estudos preliminares relacionados com o ordenamento do território;
- Estudos de impacto ambiental;
- Estratégias de gestão de estradas;
- Avaliação da prioridade dos sinais de transporte público;
- Sistemas de controlo de tráfego em horas de maior fluxo;
- Avaliações dos Sistemas de Inteligentes de Transporte;
- Estudo de viabilidade para implementação de um dado modo de transporte numa cidade [21].

O VISSIM tem sido utilizado para a análise de redes de diversos tamanhos e tipos de estradas, inclusivamente para toda uma região metropolitana. Dentro destas redes de transporte, o VISSIM é ainda capaz de modelar uma grande variedade de geometrias complexas, tais como nós de acesso a auto-estradas, ciclo vias, ferrovias, rotundas,

cruzamentos, parques de estacionamento e terminais para diferentes tipos de transportes públicos, entre outras [21].

A partir da consulta do manual oficial do software e do conhecimento adquirido através da sua utilização, são descritas seguidamente as principais características do VISSIM que foram preponderantes para a execução dos elementos essenciais para a realização desta Dissertação.

4.1.1 Base de dados para simulação

A natureza estocástica do tráfego implica a necessidade de proporcionar uma variabilidade no modelo VISSIM. Neste capítulo trata-se da informação de base para a simulação de tráfego, explicando os diferentes tipos de distribuições e funções, e também a forma como os veículos são modelados [24].

a. Funções de Aceleração e Desaceleração do veículo

O VISSIM não usa um valor fixo para aceleração e desaceleração do veículo, mas sim, funções que representam as diferenças de comportamento de cada veículo. Aceleração e desaceleração são funções representativas da velocidade instantânea. Existem quatro gráficos para cada tipo de veículo, que definem as funções específicas das mesmas:

- Aceleração máxima: é o valor tecnicamente viável de aceleração, considerado exclusivamente quando é necessária uma aceleração superior à desejada para manter a velocidade em declives acentuados.
- Aceleração desejada: utilizada para qualquer outra situação.
- Desaceleração máxima: é o valor tecnicamente viável de desaceleração, sendo que este é ajustado para declives de 0,1 para cada ponto percentual de gradiente positivo e $-0,1$ para cada ponto percentual de gradiente negativo.
- Desaceleração desejada: se o valor da desaceleração desejada for inferior à desaceleração máxima, então o valor da desaceleração desejada é utilizada como valor máximo para desaceleração. Isto pode acontecer, devido ao parâmetro de decisão de velocidade desejada ou por uma questão de paragem/arranque do veículo anterior ou também por uma possível distancia lateral insuficiente para ultrapassagem [24].

Em qualquer um dos casos anteriores, os parâmetros do modelo de análise microscópica são relevantes. Sendo cada uma destas funções pré-definidas para cada tipo de veículo. Contudo existe a possibilidade do utilizador, definir novas funções para uma dada velocidade e para um novo ou já existente tipo de veículo [24].

Quando um dos quatro tipos de gráficos é seleccionado (Figura 5), uma janela de edição surge, a qual permite editar o gráfico existente, qualquer que seja a linha. Para retratar a

distribuição estocástica de valores de aceleração e desaceleração, cada gráfico é composto por três curvas diferentes, as quais apresentam o valor mínimo, médio e o máximo. O eixo vertical do gráfico representa o valor da aceleração e o eixo horizontal representa a velocidade correspondente [24].

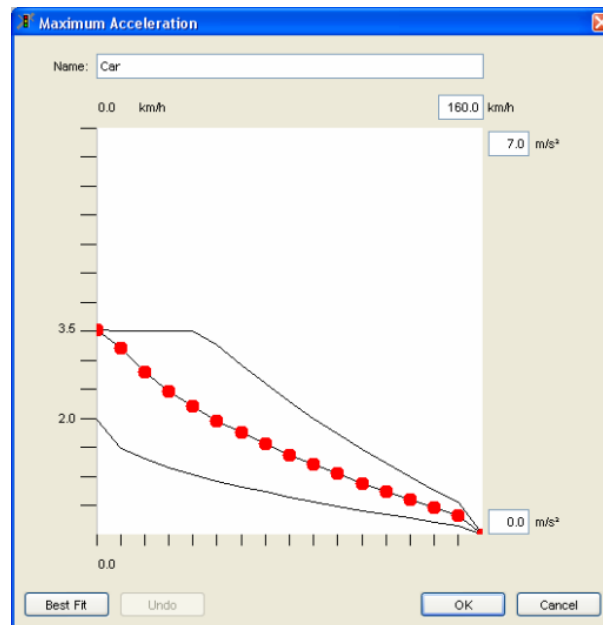


Figura 5 – Distribuição da aceleração para um automóvel ligeiro [25].

b. Distribuição

Alguns dos parâmetros do VISSIM são definidos como uma função de distribuição, e não como um valor fixo. Dessa maneira, a natureza estocástica das condições de tráfego reflectem-se de uma forma mais realista [24].

Para qualquer tipo de veículo, a distribuição da velocidade é um factor essencial, que tem uma influência significativa sobre a capacidade da estrada e da velocidade de viagem do veículo. Ou seja, se não existir interferência por parte de outros veículos, o condutor viaja com a velocidade desejada (com uma pequena variação estocástica designada oscilação). Por outro lado, se existe mais veículos que diferem da velocidade desejada, qualquer veículo com uma velocidade superior à velocidade actual desejada de viagem de outro veículo verifica se existe possibilidade de ultrapassagem sem pôr em riscos os outros veículos (desde que a ultrapassagem seja permitida) [24].

A distribuição estocástica pode ser definida para cada tipo de veículo dentro de cada composição de tráfego. Na figura 6, observa-se um gráfico de distribuição de velocidade desejada. O valor mínimo é de 45 Km/h e o máximo é de 60 km/h para um veículo ligeiro. O eixo horizontal do gráfico representa velocidade desejada enquanto o eixo vertical representa o percentual acumulado de 0.0 a 1.0. Todos os gráficos deste tipo podem ser alterados como sucede com os gráficos supracitados [24].

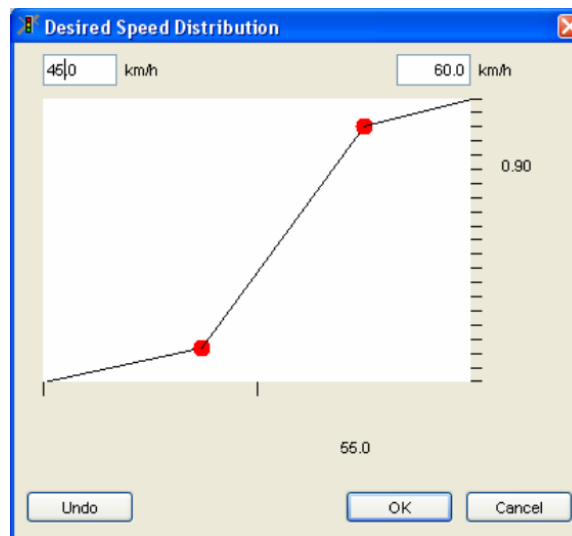


Figura 6 – Distribuição de velocidade para um veículo ligeiro [24].

Além da velocidade, a taxa de ocupação, a potência e o peso são parâmetros cuja distribuição pode ser configurada. Em relação ao nível gráfico, os parâmetros de cores, as propriedades físicas e os tipos de modelos de veículos também poderão ser alterados de acordo com as necessidades do utilizador [24].

É utilizada uma distribuição de cores para cada tipo de veículo, em vez de uma única cor. Apesar disso, se existir a necessidade de ser utilizada uma única cor para um tipo de veículo, uma distribuição deve ser definida (com apenas uma única cor). A distribuição de tipos de modelos 3D, tem efeito somente sobre resultados da simulação, para uma melhor visualização da rede gráfica e dos seus elementos, sendo que esta define as dimensões dos veículos dentro de cada tipo deste e as dimensões de peões dentro de cada do mesmo. No interior deste menu de modelos 3D, existe um sub-menu de modelo de distribuição 2D, que quando seleccionado mostra as propriedades físicas dos veículos [24].

c. Tipo, Classe e Categoria de Veículos

O VISSIM utiliza um conceito hierárquico para definir e fornecer informações de veículos em três níveis distintos [24].

O primeiro consiste no agrupamento por tipo de veículos com características técnicas semelhantes. Os tipos de veículos existentes são os veículos ligeiros, pesados, autocarros, eléctricos, bicicletas e peões. O segundo nível, consiste no agrupamento dos veículos por classes, ou seja, agrupa aqueles que têm o mesmo tipo de velocidade, de avaliações ao longo da condução e de comportamento na escolha de rotas durante o percurso. Por último, os veículos podem também ser reunidos por categoria, que consiste em agrupá-los por comportamento idênticos [24].

d. Comportamento dos Condutores

A precisão de um modelo de simulação de tráfego, é essencialmente dependente da qualidade de modelação dos veículos.

O modelo microscópico contém uma análise psico-física do modelo de análise microscópica de veículo a veículo para o movimento longitudinal dos mesmos e contém também um algoritmo baseado na regra de mudança de faixa.

O VISSIM usa o modelo de comportamento psico-físico do modelo acima supracitado, desenvolvido por *Wiedemann* (1974). O conceito básico deste modelo, consiste numa decisão do condutor de um veículo mais rápido, que inicia a desaceleração quando se apercebe de um veículo a montante em marcha mais lenta do que a dele. Como ele não tem conhecimento da velocidade exacta do veículo da frente, a sua velocidade diminuirá até atingir um valor inferior à do veículo, voltando a acelerar até atingir outro limiar de percepção. Isto resulta num processo iterativo de aceleração e desaceleração, como se mostra na figura 7 [24].

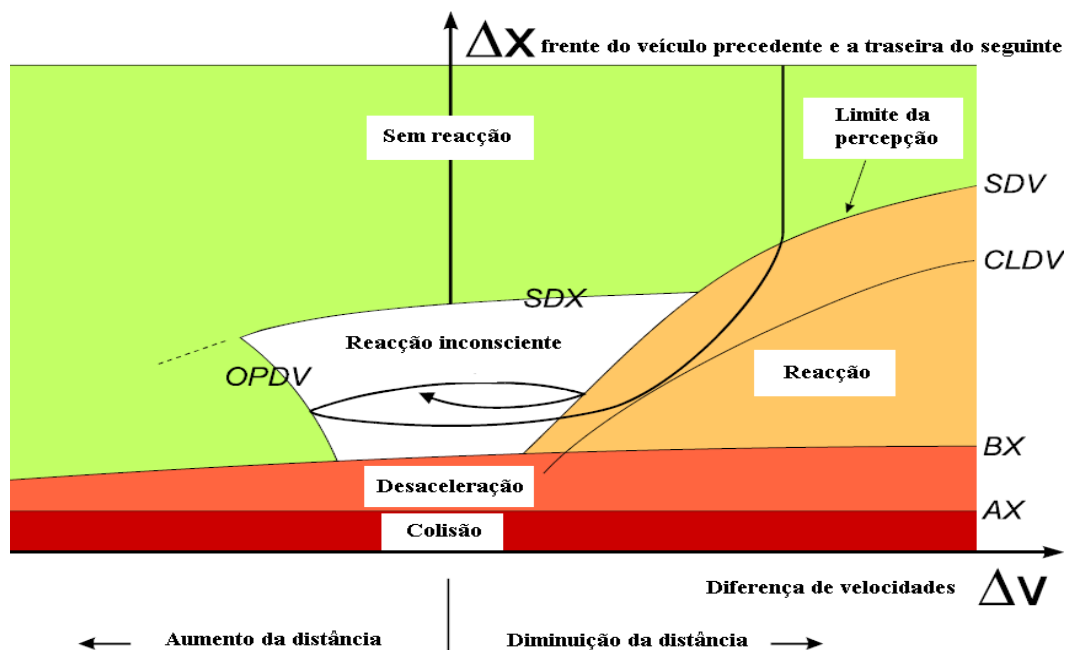


Figura 7 – Lógica do modelo de análise microscópica de veículo a veículo desenvolvido por *Wiedemann* [adaptado de 24]

A ideia básica do modelo de *Wiedemann* é a suposição, que o condutor possa estar num dos quatros modos de condução:

- Condução livre – o comportamento do condutor não é influenciado por outros veículos. Deste modo, o condutor pretende alcançar e manter uma velocidade desejada. Na realidade essa mesma velocidade não é mantida constante, devido ao controlo do acelerador ser imperfeito.

- Aproximação – o comportamento do condutor adapta-se à velocidade do veículo que segue à sua frente e que circula numa marcha mais lenta desacelerando de modo a que a diferença de velocidade dos dois veículos se torne nula no momento que ele alcança a distância de segurança.
- Seguimento – o condutor segue o veículo posterior ao seu, sem qualquer noção de aceleração ou desaceleração. Ele conserva uma distância de segurança constante, mas novamente devido ao controlo do acelerador ser imperfeito, a diferença de velocidade oscila em torno de zero.
- Travagem – Se a distância de segurança for inferior a distância pretendida, são aplicadas taxas de desaceleração acima da média. Isto acontece se o veículo precedente reduzir a velocidade abruptamente ou se um terceiro veículo muda de via e se insere no meio dos outros veículos [24].

Para cada modo supracitado, a aceleração é descrita como resultado da diferença de velocidade, distância de segurança e características individuais do condutor e veículo. O condutor muda de um modo para outro, assim que atinja um determinado limiar que pode ser expresso como uma combinação de diferenças de velocidade e distâncias. A capacidade de percepção das diferenças de velocidade e das estimativas das distâncias alterna de condutor para condutor. Por causa da combinação de aspectos psicológicos e das limitações psicológicas da compreensão dos condutores, o modelo designa-se por psico-físico da análise microscópica de veículo a veículo [24].

Nos parâmetros do comportamento do modelo de análise microscópica de veículo a veículo, o utilizador pode optar por dois modelos: o modelo de *Wiedemann 74* ou pelo modelo *Wiedemann 99*. O modelo de *Wiedemann 74* é o adequado para o tráfego urbano, pois o utilizador pode calibrar dois parâmetros, que são a distância média desejada entre dois veículos parados e a distância de segurança pretendida. O modelo de *Wiedemann 99*, é apropriado para o tráfego inter-urbano e contém 10 parâmetros que podem ser modificados [24].

Em relação às mudanças de faixa de rodagem, estas podem ocorrer em duas situações distintas: quando há pouco trânsito como, por exemplo, numa auto-estrada; e/ou quando existe um elevado grau de congestionamento, como nas vias urbanas.

Em ambas situações a mudança de faixa só é possível se existir espaço disponível na faixa de destino, para que o veículo possa efectuar a manobra em segurança, sem provocar abrandamentos significativos nos veículos que circulam nessa faixa [16].

O processo de mudança de faixa pode ser obrigatório ou arbitrário. A mudança de faixa é obrigatória quando a faixa actual deixa de ser uma opção. Por exemplo, devido às regras de trânsito, à existência de acidentes ou necessidade de sair da faixa de rodagem. A mudança de faixa é arbitrária quando o condutor não está satisfeito com as condições de condução na faixa actual. Por exemplo, devido ao facto da velocidade média da faixa actual ser diferente da velocidade desejada ou à existência de veículos a circular com velocidades inferiores [16].

O utilizador também pode definir o nível de agressividade dos veículos que mudam de faixa e dos veículos que são ultrapassados, através da definição dos limites de desaceleração. A escala da desaceleração é definida pela desaceleração máxima e desejada. Além disso, uma taxa de redução (em metros, por cada 1) é usada para abrandar a desaceleração máxima com o aumento da distância em relação à paragem de emergência, do seguinte conector da rota do veículo, como se pode visualizar na figura 8 [24].

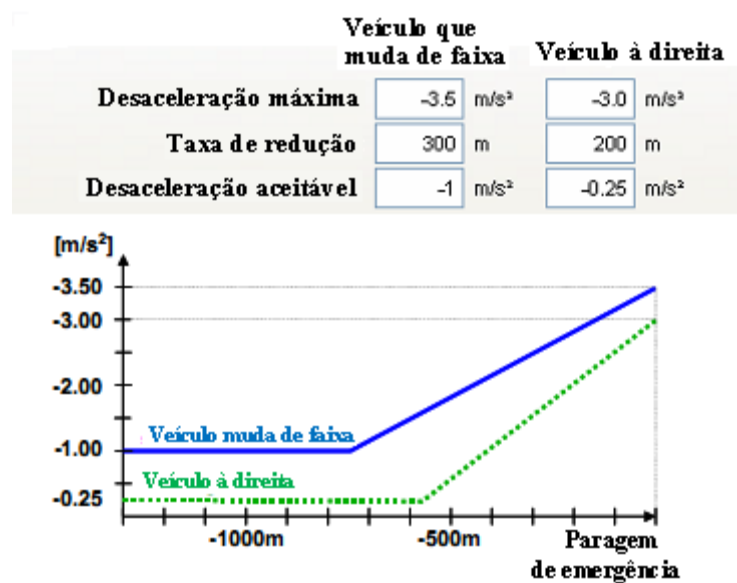


Figura 8 – Mudança de faixa com os intervalos de desaceleração máxima e aceitável e respectiva taxa de redução [adaptado 24]

Outros parâmetros como o comportamento lateral dos veículos e o comportamento perante um sinal de semáforo podem ser alterados pelo utilizador.

e. Emissões Poluentes

O cálculo de emissões é realizado através de mapas de emissões do motor para cada categoria de veículo [24].

As emissões poluentes variam em função de inúmeros factores, os quais determinam os mapas de emissão do motor. Entre eles, os que mais se destacam são as características dos veículos, o tipo de combustível, o sistema de tráfego, o traçado da via, condições climáticas e o modo de condução [24].

Para cada categoria de veículos, existe várias opções de escolha de mapas de emissões. Essa escolha é efectuada pelo utilizador e cada tipo de mapa de emissões, pode ser seleccionado pelo tipo de combustível, pelo tipo de norma europeia que determina a emissão de poluentes, pelo tipo de pneus, entre outros [24].

São possíveis seleccionar 12 componentes de emissões poluentes, desde do CO, CO₂, HC, NO_x, Partículas, entre outras. Na escolha de cada mapa de emissões, apenas se pode escolher um mapa de emissões para cada categoria de veículos [24].

Existem duas formas de aquisição das emissões, pelo parâmetro “Vehicle Record” ou “Link Evaluation”. Pelo parâmetro “Vehicle Record”, as emissões são adquiridas por cada veículo, de uma forma individual. Enquanto, que pelo parâmetro “Link Evaluation”, as emissões são obtidas por categoria de veículo. Para obtenção dessas emissões pelo parâmetro anterior, é necessário seleccionar os segmentos de estrada que se quer avaliar e configurar o comprimento dos mesmos [24].

4.1.2 Rede de Tráfego Rodoviário

O elemento básico de uma rede de tráfego do VISSIM é o arco (“link”) que representa um segmento de via simples ou múltiplo, que possui uma direcção de fluxo de tráfego. Uma rede rodoviária pode ser construída unindo as várias ligações com conectores (“connectors”). Qualquer elemento dentro da rede de tráfego pode ser editado ou apagado [24].

Na Figura 9, será mostrado um exemplo de uma rede simples na vista normal. As faixas de rodagem serão exibidas em cinzento-escuro, onde a rede simples é composta por um cruzamento com três entradas (“legs”) e duas passadeiras com respectivas regras de prioridade e sinais luminosos (linhas vermelhas) e detectores (rectângulos azuis) [24].

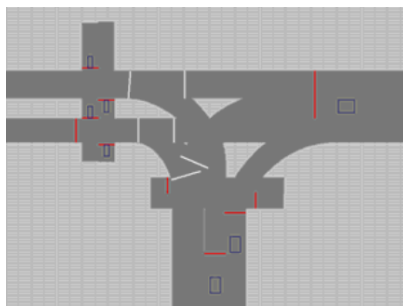


Figura 9 – Exemplo de uma rede simples na vista normal [24].

Na figura 10, poderá ser visualizado a mesma rede simples mas numa vista de eixos centrais. Neste tipo de visualização, apenas os eixos centrais das faixas de rodagem serão mostrados (azul) e os eixos centrais dos respectivos conectores (rosa) [24].

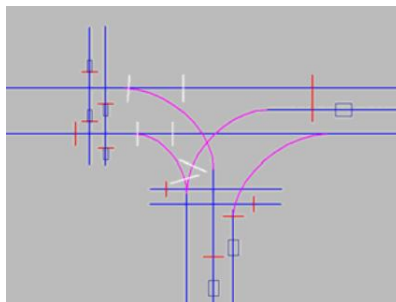


Figura 10 – Exemplo de uma rede simples na vista dos eixos centrais [24].

A rede gráfica do VISSIM é constituída por dados estáticos que permanecem inalterados ao longo da simulação ou por dados dinâmicos que retêm todas as informações sobre o tráfego simulado. Os dados estáticos representam a infra-estrutura da faixa rodoviária, sendo estes dados necessários para a simulação e teste de uma lógica de actuação dos sinais de controlo de tráfego. Os dados estáticos incluem, as ligações, os conectores entre as ligações, a localização e o comprimento das paragens dos veículos (como os stop e outros). Por outro lado, temos os dados dinâmicos que só podem ser utilizados para aplicações de simulação de tráfego (não pode ser utilizado para aplicações que utilizam apenas a funcionalidade de teste). Os dados dinâmicos incluem os volumes de tráfego, localização dos pontos de escolha de rotas, regras de prioridade, entre outros [24].

a. Modelação da Rede de Tráfego

Para a codificação de uma rede de tráfego VISSIM é necessário a criação da rede de ligações e de conectores [24].

Se iniciar a modelação com uma rede de tráfego vazia, em contraste com uma importada (por exemplo, do VISUM ou do CROSSIG), é preciso garantir uma escala correcta antes da inicialização da codificação da mesma. Isto é, a construção de uma rede de tráfego a partir do zero, exige pelo menos uma imagem de um mapa da zona em estudo, que mostre a escala da rede tráfego real. O VISSIM permite o carregamento de uma imagem em vários formatos, como BMP, JPG, entre outros. Um pormenor muito importante, é que após a definição da escala da rede criada, ela nunca mais poderá ser alterada [24].

O primeiro passo na codificação de uma rede no VISSIM é examinar as ligações, de modo a tomar conhecimento de todas aproximações a intersecções e o número de vias. Um conselho é útil passa por começar com a codificação das principais vias [24].

Com a criação da rede rodoviária, as ligações devem ser unidas entre si através de conectores, só assim é que permitirão o prosseguimento dos veículos para outras ligações [24].

b. Mudança de Velocidade

Sempre que existe uma alteração da velocidade na rede de tráfego, uma mudança de distribuição de velocidade é definida. Existem duas maneiras de definição dessas mudanças de distribuição de velocidade:

- As mudanças de velocidade temporária, como por exemplo curvas ou contorno de uma rotunda, utilizam áreas de redução de velocidade.
- As mudanças de velocidade permanente usando decisores de velocidade [24].

A principal vantagem do parâmetro de redução de velocidade em contraste com o decisor de velocidade, é que quando o veículo chega à área de redução de velocidade, abranda a esta automaticamente para a velocidade definida pela mesma área e após terminar essa mesma área (que pode ter o comprimento que o utilizador desejar), volta a acelerar até à velocidade definida para veículo. Enquanto, que a decisão de velocidade somente afecta o veículo quando este passa o decisor de secção transversal [24].

As mudanças de velocidades devem ser modeladas, quando se tem situações como curvas, cruzamentos, alterações da velocidade imposta pela sinalização e supressões de via [24].

c. Áreas de Redução de Velocidade

Na modelação de secções curtas com características de baixa velocidade (por exemplo, curvas e intersecções), o uso de áreas de redução de velocidade é a mais vantajosa, como foi dito anteriormente.

Uma área de redução de velocidade, é uma área onde os veículos definidos pelo utilizador, reduzem a sua velocidade para uma nova velocidade imposta e que o processo de desaceleração é iniciado, de acordo com o valor de desaceleração definida. Após passagem dessa área, os veículos em questão retomam à sua velocidade e aceleração definida anteriormente.

d. Tráfego Automóvel

Após a modelação da rede de tráfego, é necessário fornecer os dados para constituição do fluxo deste. Sendo que a composição do fluxo rodoviário e o volume de tráfego a implementar na rede, são os dois parâmetros fundamentais para modelação do tráfego automóvel [24].

A composição de uma categoria de veículos, é feita pelo agrupamento de vários tipos de veículos a serem inseridos em um ou mais pontos da rede. Para configuração deste parâmetro é necessário definir os tipos de veículos, a percentagem relativa de cada tipo e a distribuição de velocidades dos mesmos [24].

Em relação à variável de volume de tráfego, esta é definida para cada arco, para cada intervalo de tempo e para um dado tipo de veículos. É importante salientar, que os dados das viaturas são expressos em veículos/hora para intervalos de tempo diferentes de uma

hora. Contudo, também é possível ao utilizador configurar o número exacto a ser inserido em determinado arco [24].

Na configuração dos dados para constituição do fluxo de tráfego, não existe a possibilidade de se ter um volume de tráfego sem se definir a composição do mesmo, ou vice-versa [24].

Se o fluxo de tráfego exceder a capacidade do arco, os veículos são “empilhados” para o exterior da rede até que o espaço esteja disponível. Quando os veículos empilhados não voltam a entrar na rede no intervalo de tempo definido, o VISSIM grava uma mensagem de erro no arquivo LOG, sendo o utilizador notificado no final da simulação [24].

e. Rotas e Escolhas de Rotas

Uma rota é uma sequência fixa de ligações e conectores que pode ter qualquer comprimento e várias ramificações para percursos distintos (Figura 11). A rota designada para uma classe de veículo é iniciada quando o mesmo passa o ponto de escolha da rota (barra vermelha) e termina quando passa pelo ponto de destino (barra verde).



Figura 11 – Exemplo de uma rota com várias ramificações [24].

A escolha de rotas afecta apenas a classe de veículos que se inserem nessa escolha e não tem qualquer informação sobre o seu percurso. Se algum veículo possui uma rota anteriormente atribuída, enquanto não ultrapassar o ponto de destino ou final da rota (barra verde), não poderá receber novas informações de uma nova rota [24].

A distribuição estocástica para as múltiplas rotas em relação ao único ponto de escolha de rota é baseada na metodologia de Monte Carlo.

Pode-se definir o método de Monte Carlo como sendo um estudo de simulação para obtenção de aproximações de variáveis em análise, visando a reprodução, num ambiente controlado, do que se passa no mundo real. Este método é um conjunto de algoritmos computacionais que se baseiam numa amostragem repetida para determinar os resultados. Este método tem sido muito utilizado na produção de cenários reais com a utilização de modelos virtuais 3D [25].

Na escolha de rotas existem seis tipos de rotas (sendo que as duas ultimas são exclusivas para o modo de atribuição dinâmica):

- Estáticas: os veículos quando passam o ponto inicial (barra vermelha) definem o destino da sua rota em detrimento de outras opções de rotas com base num percentual estático para cada destino.
- Parciais: definem uma secção de uma ou mais rotas estáticas e distribui os veículos de acordo com os vários destinos da rota e percentagens definida pelas rotas parciais. As rotas parciais podem ser usadas para modelar, por exemplo, um desvio de rota causado por um painel de mensagem variável (VMS).
- Parques de estacionamento: define um ponto de escolha que gera automaticamente rotas para cada um dos lugares de estacionamento e dos lugares para a rede (somente para parques de estacionamento).
- Gestão de faixas de rodagem: cria duas vias paralelas a partir do ponto de escolha de rota até ao ponto de destino. Para a escolha de rotas, o utilizador deve definir um modelo de preços.
- Dinâmicas: define um ponto de escolha que reencaminhe o tráfego de acordo com as condições definidas pelo utilizador e com uma dada estratégia de encaminhamento.
- Fecho: é definida como uma sequência de ligações a ser excluídas do conjunto de ramificações disponíveis [24].

Além da escolha de rotas, existe outra opção para configurar as mesmas, que é através da escolha de direcções. Mas a escolha de rotas tem inúmeras vantagens em relação à escolha de direcção. As vantagens são que a escolha de rotas envolvem todas as vias de trânsito, enquanto que a escolha de direcções só afectam uma única faixa de rodagem, o que provoca um aumento do esforço de codificação. A modelação do fluxo de tráfego com a escolha de rotas garante uma réplica exacta das várias situações, forçando os veículos a seguir as sequências definidas, entre outras vantagens [24].

f. Transportes Públicos

Os transportes públicos operam num tráfego misto, como em vias dedicadas ou em estradas normal, porém têm uma forma única de criação das zonas de paragem e da definição da linha de transportes públicos, que incluem as rotas, os veículos e os horários [24].

As zonas de paragens podem ser criadas ou serem adjacentes a um arco. Existem dois tipos:

- Na própria via: o veículo pára no segmento definido para o efeito em plena via de trânsito;

- Numa zona de paragem adjacente dedicada: o veículo efectua a sua paragem, num arco especial do lado exterior da via de tráfego sem provocar qualquer perturbação ao fluxo de trânsito [24].

A definição da linha de transportes públicos, pode ser constituída por autocarros e eléctricos. Os tempos de paragem dos transportes são determinados por distribuições de tempo de permanência ou por cálculos de tempo de serviço de passageiros. A codificação da escolha de rota do transporte público é determinada da mesma maneira que as rotas do restante tráfego. Por defeito, o VISSIM define o direito de passagem para o transporte público quando este está a sair da paragem [24].

4.1.3 Regras de Trânsito

O trânsito evidencia-se, geralmente, pela organização, fazendo fluir os veículos em faixas de tráfego numa direcção específica, com cruzamentos e sinais de trânsito [24].

As regras de trânsito são práticas e procedimentos gerais que os condutores e peões devem seguir, tendo sido definidas por um tratado internacional. Estas regras referem-se a regras de prioridade (cedências de passagem), sinais de paragem obrigatória (designado STOP) e sinais luminosos (semáforos) [24].

a. Regras de Prioridade

A regra de prioridade consiste em parar/abrandar numa linha de paragem (barra vermelha), e em um ou mais marcadores de conflitos (barras verdes) que estão associado à mesma (Figura 12) [24].

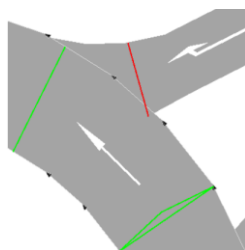


Figura 12 – Linha de paragem (barra vermelha) e marcador de conflito (barra verde) [24].

Quando os veículos se aproximam da linha de paragem e abrandam ou param, essa situação depende de duas condições nos marcadores de conflito: a distância mínima e o tempo mínimo de decisão [24].

A distância mínima é geralmente definida como o comprimento da área de conflito. Durante a simulação, o progresso actual é determinado pela distância entre o marcador

conflito e o primeiro veículo que se aproxima do mesmo. Se a distância do veículo que se aproxima do sinal de paragem for menor do que a distância mínima, o mesmo pára [24].

O tempo mínimo de decisão (durante a simulação) é determinado através do passo de tempo que o veículo requer para alcançar o marcador de conflito, a deslocar-se na sua velocidade actual [24].

Seguidamente ilustra-se dois exemplos díspares da aplicação da regra de prioridade, mais vulgarmente conhecida por cedência de passagem, contendo as duas condições acima referida (Figura 13 e 14) [24].

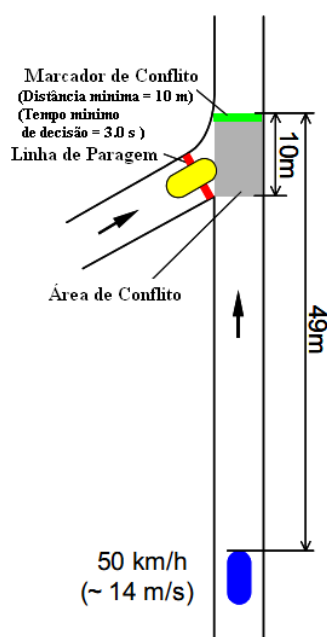


Figura 13 – Exemplo da aplicação da regra de prioridade quando o tempo mínimo de decisão é menor do que o tempo instantâneo de decisão [adaptado 24].

O veículo azul viaja a cerca de 50 km/h (ou seja, aproximadamente 14 m/s), encontrando-se a 49 metros da área de conflito. Neste exemplo, o tempo instantâneo de decisão é . Como o tempo mínimo de decisão é de 3 segundos, então o veículo amarelo que se aproxima da zona de conflito não necessita de efectuar a paragem.

Mas, se por acaso o veículo estiver a 28 metros da zona de conflito e se continuar a deslocar-se a uma velocidade de 50 km/h, o tempo instantâneo de decisão já seria de . Nesse caso como o tempo mínimo de decisão é de 3 segundos, então o veículo amarelo tem que parar na linha de paragem e aguardar que o veículo azul passe a área de conflito na sua totalidade, como pode ser visualizado na figura 14.

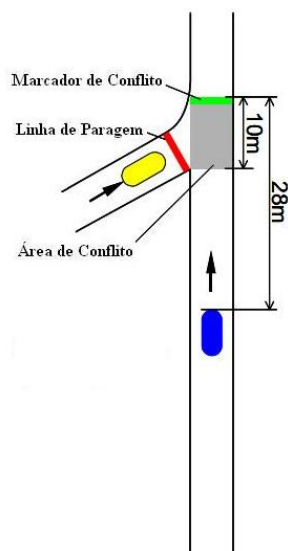


Figura 14 - Exemplo da aplicação da regra de prioridade quando o tempo mínimo de decisão é maior do que o tempo instantâneo de decisão [adaptado 24].

b. Áreas de Conflito

As áreas de conflito são uma nova alternativa para as regras de prioridade perante um cruzamento. Esta é a solução recomendada na maioria dos casos, porque são mais facilmente definidas e resultam num comportamento mais sensato por parte do veículo [24].

A área de conflito pode ser definida entre duas ligações/conectores. Para cada área de conflito, o utilizador pode seleccionar quais das ligações têm direito de passagem.

Quando um veículo que viaja na estrada secundária se aproxima de uma área de conflito (onde ele deve ceder a passagem), determina se existe espaço suficiente para entrada na faixa principal. Se não existir esse espaço, o veículo desacelera, como se tivesse de parar na zona de conflito. Na próxima vez, que o veículo reconhecer que a lacuna existe, recalcula o espaço que tem de entrada e começa a cancelar a travagem e continua com uma determinada aceleração visando a possibilidade de entrada na via [24].

Todavia, o veículo que viaja na faixa principal, não arrisca a colisão com veículos que entrem da estrada secundária. Se ele determinar que um veículo na estrada secundária, entra na área de conflito sem respeitar a mesma, ele trava com antecedência para poder parar antes de entrar na área de conflito [24].

Todos os veículos tanto da estrada principal como da secundária, tentam não entrar numa área de conflito, uma vez que possa não existir uma extensão suficiente para sair da mesma. Ou seja, o movimento do veículo que entra na primeira área de conflito, numa sucessão de várias, é sempre contínuo [24].

Por outro lado, se o veículo de uma via secundária verifica que não pode sair da área de conflito, então efectua a paragem. Contudo, se o veículo anterior tenha ocupado a área de

conflito, esta última acção não é executada, independentemente do incumprimento do tempo de aceitação para a acção [24].

A área de conflito no modelo microscópico VISSIM define-se com uma zona a vermelho, para veículo que cede a passagem e a verde, para o veículo que tem a prioridade (Figura 15) [24].

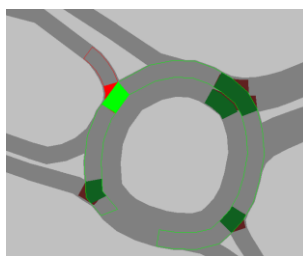


Figura 15 – Área de conflito.

Existem factores que afectam o cálculo do plano (perfil de aceleração) para cada veículo que se aproxima da área de conflito. As situações decorrentes diferem conforme o tipo de atributo que é definido, por causa da mudança do comportamento do condutor, face a uma modificação no tráfego. Os atributos mais importantes para situações de conflito são:

- Visibilidade – distância máxima (em metros), em que o veículo consegue observar outros veículos que se aproximam da área de conflito.
- Aceitação frontal – tempo mínimo (em segundos) entre a extremidade traseira do veículo que circula na via principal e a extremidade dianteira do veículo que circula na via secundária.
- Aceitação traseira - tempo mínimo (em segundos) entre a extremidade traseira de um veículo que entra numa estrada secundaria e a frontal de outro veículo precedente.
- Factor de distância de segurança – este valor é multiplicado pela distância normal de segurança de um veículo que circula na via principal, de modo a determinar o espaçamento mínimo que o veículo da via secundária deve fornecer, no instante em que se encontra dentro da área de conflito [24].

c. Sinais Luminosos

Intersecções sinalizadas podem ser modeladas em VISSIM através de controlos de tempo fixo ou através de um gerador de estado do sinal, como por exemplo, o módulo opcional VAP. O modelo microscópico também tem disponíveis alguns extras, com outra lógica de controlo de sinal designado como VS-PLUS, TRENDS ou Type 2070. Além destes, o

VISSIM também pode ser controlado externamente através do controlador NEMA TS/2 ou através de Econolite ASC/3 ou ainda através do controlador SCATS [24].

Cada controlador de sinal de semáforo pode simular até 125 grupos de sinais, dependendo da lógica do controlo seleccionado.

A codificação dos sinais de semáforo permite a modelação exacta de qualquer situação. Isto inclui a capacidade de modelação de diferentes sinais de semáforo para diferentes tipos de veículos, isto é, a classe de autocarros pode ser configurado para não parar quando se aproximar de um sinal vermelho, enquanto que todos os outros tipos de veículos são obrigados a parar [24].

4.1.4 Dados de Saída

O VISSIM oferece uma vasta gama de avaliações que resultam em dados apresentados durante a simulação e/ou dados armazenados em arquivos de texto e/ou em uma base de dados, que podem ser configurados pelo utilizador, de modo a seleccionar exclusivamente os dados pretendidos. Esses mesmos dados incluem consumo de combustível, emissões de poluentes, número e tipo de veículos, tempos de atraso, número médio de paragens dos mesmos, velocidade e aceleração [24].

4.2 Caso de Estudo

Aveiro é uma importante área industrial e comercial e um ponto estratégico para o comércio internacional, beneficiando de várias redes de transporte, incluindo o transporte rodoviário, ferroviário e das ligações marítimas. Está localizada na costa noroeste de Portugal a 78 Km do Porto e a 275 Km da capital (Figura 16) [26].



Figura 16 – Localização do distrito de Aveiro no mapa de Portugal [27].

O município de Aveiro tem uma área de 200 km², possui uma população de 75.000 habitantes e um campus universitário, com cerca de 15.000 estudantes [26].

O caso de estudo escolhido encontra-se localizado numa das avenidas mais problemáticas e movimentadas do centro da cidade de Aveiro, a Avenida Dr. Lourenço Peixinho (ALP) (Figura 17).



Figura 17 - Avenida Dr. Lourenço Peixinho [27].

A escolha desta avenida para caso de estudo deve-se a inúmeros factores, como por exemplo, os incidentes que ocorrem todos os dias, desde estacionamento em segunda fila (Figura 18), à necessidade de condução na via da esquerda da faixa de rodagem, devido à existência desses mesmos estacionamentos irregulares. Além disso, a inexistência de períodos de carga e descarga e o uso do intensivo do transporte particular em detrimento do transporte colectivo, incrementam as possibilidades de incidentes e, conseqüentemente do fenómeno de congestionamento.

Todos estes incidentes provocam múltiplos estrangulamentos da via criando congestionamentos. O congestionamento das cidades não só causa problemas ambientais, como ainda provocam impacto económico, social e sanitário negativo [27].



Figura 18 - Estacionamento em segunda fila na Avenida Dr. Lourenço Peixinho.

A Avenida Dr. Lourenço Peixinho assumiu-se como o centro urbano da cidade, tendo forte centralidade de localizações de actividades económicas, como por exemplo, estabelecimentos de comércio e serviços, além das zonas residenciais [28].

Similarmente, funciona como elo de ligação a algumas localidades como Esgueira, Barrocas, entre outras, e é o caminho mais utilizado habitualmente de quem se desloca até à Estação de Comboios (Estação CP) ou de quem se desloca da Estação de Comboios para qualquer local da cidade [28].

O trabalho centrou-se na análise desta Avenida, desde da Rotunda da Ponte da Praça até à Estação CP, incluindo as vias secundárias circundantes, que se consideraram essenciais para transformar o modelo virtual mais próximo da realidade e para criação de percursos alternativos da ALP até à Estação CP, como pode ser visualizado na Figura 19. O tráfego deste local, de natureza urbana, desenvolve-se por duas faixas de rodagem, cada faixa constituída por 2 vias, e tendo a velocidade máxima de circulação de 50 km/h. Existe, também passeios de cada lado das faixas de rodagem e a separar as mesmas.



Figura 19 – Imagem de satélite do caso em estudo. [29].

4.3 Recolha de dados reais e Trabalho de campo

Após a tomada de conhecimento do simulador microscópico VISSIM, e de uma leitura pormenorizada do seu manual, elaborou-se uma lista de tarefas a serem realizadas, de modo a ter dados reais dos parâmetros a configurar no VISSIM.

a. Dados de tráfego

Entre Outubro e Novembro de 2008, a Câmara Municipal de Aveiro em parceria com a empresa SOLTRAFEGO.SA, recolheu dados de tráfego automóvel nas principais entradas e saídas da ALP através de um sistema de medição de volumes classificados de veículos designado VIACOUNT II [28,30]. O sistema mediu o número, o comprimento e a velocidade dos veículos em diversos intervalos de tempos durante uma semana (na maior parte dos casos).

Numa primeira análise foi realizado um tratamento dos dados de tráfego automóvel, no qual unicamente teve interesse o número e os tipos de veículos para os diversos intervalos de tempos. De seguida, optou-se por analisar apenas os dados, para os dias que traduzem com maior fiabilidade a circulação de veículos numa cidade, sendo esses os dias de terça-feira, quarta-feira e quinta-feira [31].

Numa segunda fase de análise, e após uma observação cuidada e pormenorizada do local em estudo, escolheram-se os pontos fulcrais de entrada de tráfego para a modelação da ALP (Figura 20).



Figura 20 – Imagem de satélite com a visualização da ALP em estudo e indicação dos locais de entrada de tráfego por respectivos números. [32]

- Rotunda da Ponte da Praça: sentido ALP – Estação (1).
- Rotunda de Esgueira: sentido Esgueira – ALP (2).
- Avenida da Granja: sentido Av. Granja – Av. Central (3) [30].

Numa terceira fase, após a observação dos dados, constatou-se que somente se possuíam os dados completos para a terça e quinta-feira (visto que para quarta-feira nem todas as contagens continham os valores para as 24h do dia). Nesse caso, somente se analisou esses dois dias (quadro do Anexo A). De seguida, elaborou-se gráficos para os dias em estudo, de forma a tornar observação mais inteligível, de quais poderiam ser consideradas as horas de ponta e as horas de vazio normal a serem estudadas na simulação [30].

Na fase seguinte, em coerência com os pontos de entrada considerados e os gráficos elaborados, optou-se por escolher a hora de maior e de menor fluxo de tráfego em relação ao mesmo dia. Nesse caso, o dia em análise foi a quinta-feira. É de salientar que as horas escolhidas onde se verificam maior ou menor fluxo de tráfego, serão consideradas as horas de um dia laboral, porque não faz sentido a análise de horas nocturnas ou de alvorada. Posto isto, em observância aos gráficos seguintes (Figuras 21 a 23), a hora de ponta seria entre a 18:00 e 19:00h. Em relação à hora de menor fluxo de tráfego, designada hora de vazio normal, foi considerada entre 11:00 e 12:00h (Figura 21 a 23). Posteriormente, estes dados, serão utilizados na modelação e simulação do caso de estudo.

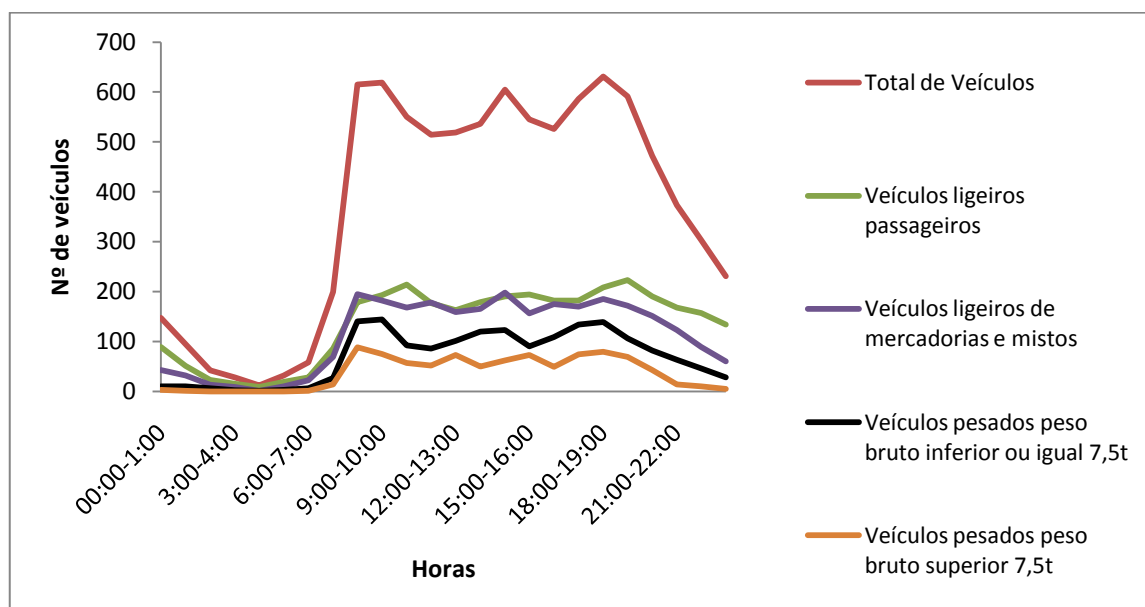


Figura 21 – Evolução do volume de tráfego horário na Rotunda Ponte Praça no dia em análise [30].

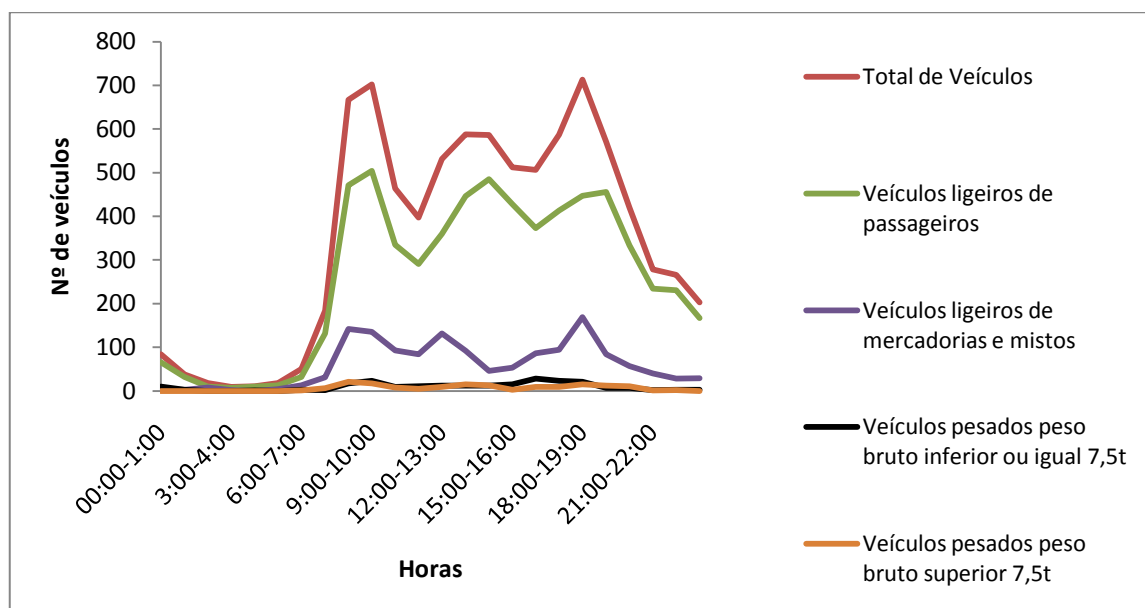


Figura 22 - Evolução do volume de tráfego horário na Rotunda de Esgueira no dia em análise [30].

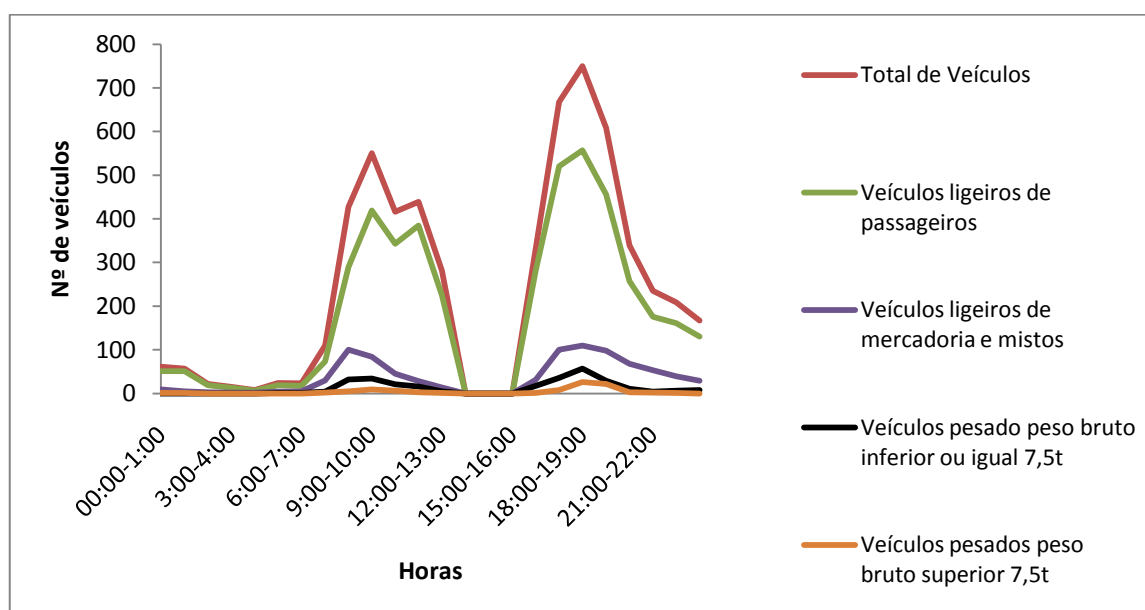


Figura 23 - Evolução do volume de tráfego horário na Rotunda do Oita no dia análise [30].

Na hora de ponta, o volume de tráfego total é de 2042 viaturas (dos três locais de entrada de tráfego), é constituído por 63 % de veículos ligeiros, 21 % de veículos ligeiros de mercadorias e mistos, 10 % de veículos pesados de peso bruto inferior ou igual a 7.5 toneladas e 6 % de veículos pesados com peso bruto superior a 7.5 toneladas, como pode ser visualizado no seguinte gráfico (Figura 24) [30].

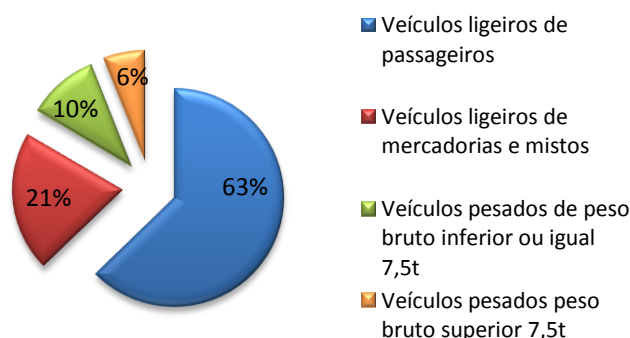


Figura 24 – Distribuição da tipologia de tráfego na hora de ponta em estudo [30].

Na hora de vazio normal, o volume de tráfego total é de 1316 veículos (dos três locais de entrada de tráfego) é constituído por 65 % de veículos ligeiros, 22 % de veículos ligeiros de mercadorias e mistos, 9 % de veículos pesados de peso bruto inferior ou igual a 7.5 toneladas e 4 % de veículos pesados com peso bruto superior a 7.5 toneladas, como pode ser visualizado no seguinte gráfico (Figura 25) [30].

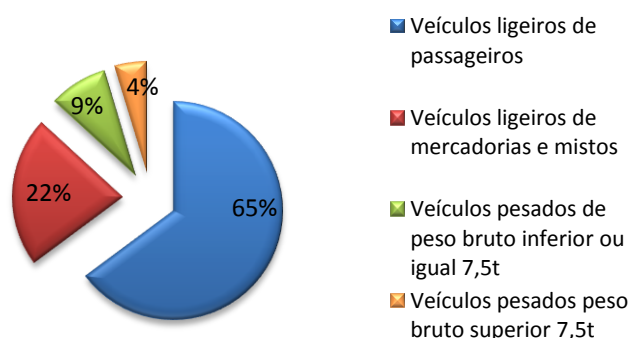


Figura 25 – Distribuição da tipologia de tráfego na hora de vazio normal em estudo [30].

b. Configuração da Sinalização Luminosa

No caso dos sinais luminosos e respectivos tempos de sinalização, não se usufruiu de acesso aos dados, portanto optou-se por executar trabalho de campo, que consistiu em realizar medições da temporização dos semáforos. No trabalho de campo em alguns locais, notou-se que a temporização dos sinais não era constante e variava com o fluxo de tráfego. Após esta observação, concluiu-se que os sinais luminosos eram actuados pelo tráfego (micro-regulação) [33].

Os sinais luminosos actuados pelo tráfego, ajustam-se a este, modificando-se os tempos de cada fase ou mesmo a sequência das mesmas no ciclo. Deste modo, não há planos pré-definidos, o que proporciona vantagens, como inexistência de mudanças súbitas nas durações/seqüências dos ciclos [33].

Contudo, o pacote de aplicações do VISSIM adquirido, não contempla essa aplicação de sinais luminosos actuados pelo tráfego, simplesmente inclui a aplicação dos sinais luminosos com tempo fixo. Posto isto, optou-se por retirar vários tempos de cada fase de cada semáforo e realizar um valor médio de cada um desses tempos, que será utilizado como valor de referência na temporização dos sinais luminosos dispersos pela avenida (quadro do Anexo B).

O quadro do Anexo C apresenta os valores médios utilizados para cada sinal luminoso existente ao longo da avenida.

c. Sinalização Gráfica Vertical

Os sinais gráficos verticais considerados preponderantes neste trabalho e que afectarão directamente os veículos são os sinais de regulamentação. O sinal de cedência de passagem e o de paragem obrigatória num cruzamento ou entroncamento são os sinais de regulamentação imprescindíveis de introduzir na modelação do VISSIM.

d. Transportes Públicos

Em relação aos transportes públicos, é necessário o conhecimento dos horários dos autocarros nas horas em estudo para estimar o número dos mesmos, da sua capacidade de lotação nessas horas e conjuntamente dos números de pessoas que entram e saem nas respectivas paragens ao longo da ALP. Para tornar o modelo o mais próximo da realidade e como, mais uma vez, não existiam dados disponíveis para estes parâmetros, optou-se por ir para o campo em estudo retirar os dados.

Os quadros do Anexo D apresentam os números de autocarros existentes nas horas em estudo, a taxa de ocupação de cada um e o número de entrada e saída de passageiros em cada paragem ao longo da ALP nessas mesmas horas.

Em relação ao número de autocarros que percorrem a avenida na hora de vazio normal (11:00h – 12:00h), tem-se do lado norte da ALP (sentido ALP – Estação CP), um total de 3 autocarros e do lado sul da ALP (sentido Estação CP – ALP), um total de 6 autocarros [34].

Em relação ao número de autocarros que percorrem a avenida na hora de ponta (18:00h – 19:00h), tem-se do lado norte da ALP um total de 11 autocarros e do lado sul da ALP, um total de 8 autocarros [34].

g. Escolha de Rotas

Na escolha de rotas, como não existem dados de matrizes O/D na região optou-se por executar contagens nos cruzamentos e rotundas existentes no caso de estudo. Após essa recolha do número de veículos que percorriam uma ou outra rota, elaborou-se o Quadro do

Anexo E, que mostra, em percentagem, os valores de veículos que escolhem uma determinada rota de viagem na hora de vazio normal e na hora de ponta.

h. Áreas de redução de velocidade

Em relação às áreas de redução de velocidade, era importante compreender as reduções de velocidade ocorridas tanto em hora de vazio normal como de ponta, para se inserir na modelação, de modo a tornar o cenário mais realista exequível. Novamente, por falta de dados disponíveis, decidiu-se ir para campo retirar os dados necessários. Para este efeito, utilizou-se um *MobPharos GPS loggerBracelet CM0609* (figura 26), que tem como funcionalidades relevantes, a gravação do percurso em coordenadas GPS, o armazenamento de mais de 54 000 pontos GPS e o registo de tempos, distâncias e velocidades.



Figura 26 – MobPharos GPS loggerBracelet CM0609 [35]

Deste modo, utilizou-se este GPS para medir a velocidade instantânea ao longo da ALP, e registando na memória do mesmo, as coordenadas dos locais de passagem. No final do percurso, esse equipamento foi ligado ao computador, o qual descarregará os dados para um ficheiro do tipo .txt. Os dados recolhidos poderão ser visto através do Google Earth (Figura 27), o que permite o conhecimento mais pormenorizado, da velocidade instantânea praticada nos locais em estudo, mais precisamente em intersecções e rotundas. A velocidade média de circulação na ALP obtém-se igualmente com este equipamento.

As desacelerações em intersecções e/ou em rotundas são calculadas, conhecendo o intervalo de velocidade praticadas, a distância típica de paragem ou abrandamento, e o tempo de desaceleração para esses locais [36].



Figura 27- Imagem da área em estudo, com indicação das coordenadas percorridas pelo GPS [32].

O Quadro do Anexo F apresenta as velocidades e desacelerações praticadas nesses locais em estudo, tanto em hora de vazio normal como de ponta, para posteriormente se inserir esses mesmos valores na modelação.

4.4 Cenários e Alternativas

No estudo experimental desta Dissertação de Mestrado, e após o conhecimento das características principais do programa de micro-simulação, do caso de estudo e das suas situações problemáticas, foram estabelecidos diversos cenários, de modo a reduzir/mitigar estas situações.

Foram simulados diversos cenários, sendo que no cenário base simulou-se o fluxo de tráfego normal da ALP e será este que servirá sempre de base de comparação com os cenários subsequentes. Em todos os cenários, a velocidade máxima de circulação é de 50 km/h. Os restantes cenários que foram modelados, foram os seguintes:

- Cenário 1 – Simulação de 1 incidente até ao limite máximo de 13 incidentes no sentido ALP – Estação;
- Cenário 2 – Simulação de 1 incidente até ao limite máximo de 13 incidentes no sentido Estação – ALP;
- Cenário 3 – Simulação de 25 incidentes no sentido ALP – Estação e no sentido inverso;
- Cenário 4 – Simulação de uma via única para autocarros nos sentidos ALP – Estação e Estação – ALP.

Nestes cenários, apenas o parâmetro da hora de estudo foi alterado, ou seja, realizou-se a análise numa hora de ponta, onde o fluxo de tráfego é elevado, e numa hora de vazio normal, onde o fluxo de tráfego é mínimo a médio, durante um dia laboral.

Por último, depois destes cenários todos modelados e realizadas as respectivas simulações, pretendeu-se obter como dados de saída, principalmente, as emissões e consumos de combustíveis emitidos pelos veículos ligeiros e comparar esses mesmos valores.

Um pormenor a ter em conta, é que para estes cenários acima indicados, só se irá avaliar as emissões e consumos provocados pelos veículos que estejam a percorrer a ALP, isto é, apenas as duas ligações que designamos por ALP sul (sentido Estação – ALP) e ALP norte (sentido ALP – Estação) serão avaliados.

Nas próximas secções apresentam-se as características de cada cenário modelado. É de salientar que o cenário base servirá de suporte para modelação dos restantes cenários.

4.4.1 Cenário Base

O cenário base não é mais do que a modelação da ALP no programa de simulação VISSIM, com o fluxo de tráfego na hora de ponta e na hora de vazio normal, sendo que este cenário não alterou o comportamento padrão de condução. Este cenário foi previamente calibrado, em alguns pontos que serão descritos ao longo deste subcapítulo.

Inicialmente, e como primeiro passo, começou-se por utilizar um software de referência, na recolha de imagens de satélite, que neste caso, foi o Google Earth, de modo a ser retirada a imagem de fundo da área a modelar, para de seguida ser importada no novo ficheiro criado no VISSIM. É importante salientar que essa imagem quando inserida, não possui a escala real, logo é necessário ajustar essa escala “virtual” à escala real e para isso, utilizou-se uma ferramenta muito útil, fornecida no website da Câmara Municipal de Aveiro, que se designa por SIG, que facilita a medição de vários tipos de comprimentos e/ou larguras de áreas/segmentos [28]. Após a medição de uma área/segmento, seguiu-se no modelo a escolha da mesma, onde é realizado o ajuste para a escala real (Figura 28).



Figura 28 – Ajuste de uma área/segmento real do website SIG para o modelo virtual no VISSIM [28].

Após o ajuste da imagem de fundo à escala real efectuou-se a modelação das faixas de rodagem. O primeiro passo na codificação de uma rede gráfica no VISSIM é reproduzir as faixas de rodagem através das ligações e conectores existentes no programa (Figura 29). As ligações não se poderão unir umas às outras, para isso existem os conectores, que são os responsáveis por essas agregações. Portanto, no final da criação da rede rodoviária, as ligações reproduzidas foram conectadas entre si.

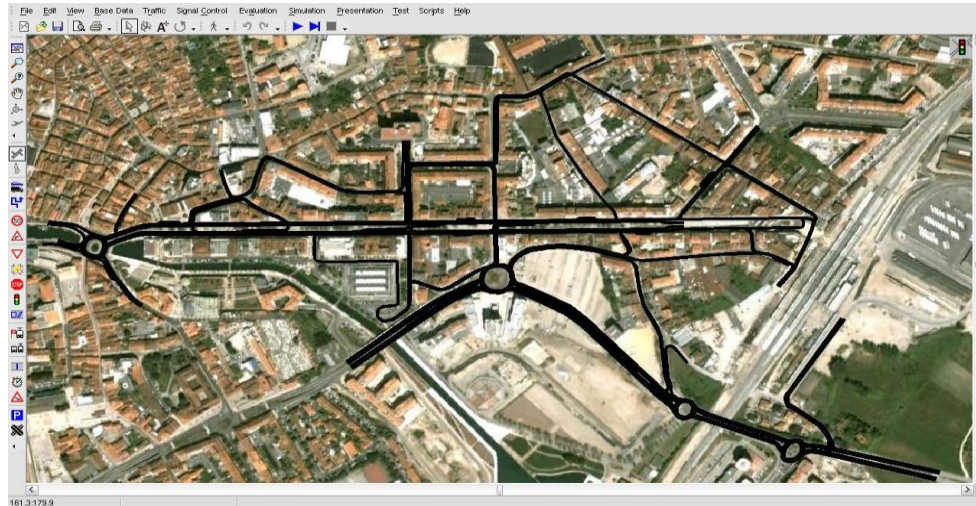


Figura 29 – Modelação das faixas de rodagem.

No segundo passo da modelação foram especificados os parâmetros da base de dados do programa, como o perfil de velocidades, funções de aceleração e desaceleração e características técnicas dos veículos supracitados.

O tipo de comportamento escolhido foi o de modo urbano, tendo seguido os parâmetros do modelo de comportamento psico-físico de condução, Wiedemann 74, modelo dedicado à rede urbana, mantendo-se os valores padrão do modelo.

Em relação ao parâmetro dedicado aos veículos, existiu a necessidade de criar um novo tipo de veículo que não existia na mesma base de dados, que foi o veículo ligeiro de mercadoria e misto, designado no VISSIM, como “Van”, o qual é diferenciado nas contagens de tráfego dos veículos ligeiros de passageiros. Neste caso, procedeu-se à configuração do perfil de velocidade, das funções de aceleração e desaceleração e das características técnicas do mesmo, como pode ser visualizado na Figura 30. Visto que as configurações técnicas de veículos ligeiros de mercadorias não se encontram, de uma forma tão personalizada como se tem no VISSIM, optou-se por criar com as mesmas características que os veículos ligeiros de passageiros e mistos, exceptuando o peso e a potência, os quais foram consultados em tabelas disponibilizados por alguns fabricantes.

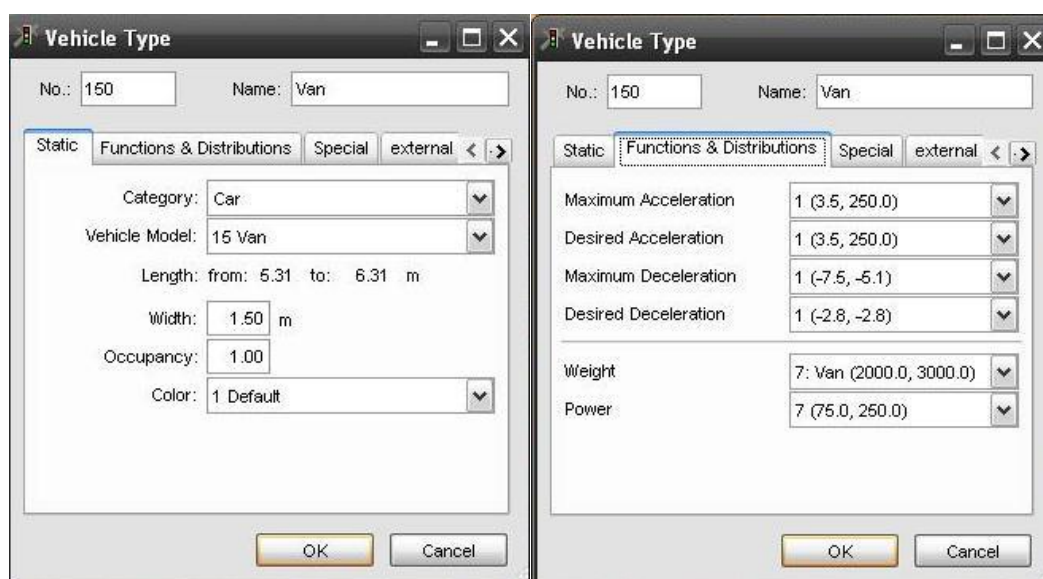


Figura 30 – Criação dos parâmetros de configuração de um novo veículo designado por “Van”.

Após a criação do novo tipo de veículo, seguiu-se para a configuração e composição do tráfego. Contudo, na configuração do tráfego rodoviário constatou-se que os autocarros seriam uma classe de veículos que teriam um modo distinto de configuração. Em relação à composição do tráfego rodoviário para hora de vazio normal e de ponta, nas três entradas de tráfego supracitadas, o tráfego seria constituído por veículos ligeiros de passageiros (“Car”), por veículos ligeiros de mercadorias e mistos (“Van”) e por veículos pesados com peso bruto inferior a 7500 kg (“HGV”).

Em relação à quantidade de veículos inseridos na rede de tráfego e após consulta das contagens, na hora de vazio normal, na entrada da Rotunda da Ponte de Praça existem 441 veículos, na Rotunda de Esgueira tem-se 386 veículos e na Avenida da Granja existem 429 veículos. Na hora de ponta, na entrada Rotunda da Ponte de Praça tem-se 532 veículos, na Rotunda de Esgueira tem-se 663 veículos e na Avenida da Granja tem-se 724 veículos. Todos estes veículos são inseridos em simultâneo durante uma hora de simulação. Admitindo com base nos dados de GPS recolhidos, a velocidade média na ALP é cerca de 26 km/h, posto isto, o intervalo de velocidade de circulação adoptado para cada categoria de veículo é de 25 a 30 km/h.

Os Quadros do Anexo G apresentam a percentagem de cada tipo de veículo, que circula na ALP, tanto na hora de vazio normal como na hora de ponta.

Em relação à configuração dos autocarros, utilizou-se um parâmetro exclusivo, designado “Bus/Tram Lines”. Existem dois trajectos com respectivas paragens de autocarros, pelas quais estes circulam. O primeiro trajecto é no sentido Estação – ALP, com início na Rotunda de Esgueira e final na Rua Batalhão dos Caçadores (Figura 31). O segundo trajecto consiste no sentido ALP – Estação, com início e final oposto ao do primeiro (Figura 32). Além deste detalhe, a configuração dos autocarros também contempla a definição da quantidade de autocarros e da distribuição dos mesmos ao longo da hora da simulação (Figura 33). Em relação à quantidade e distribuição de autocarros, foi elaborado o Quadro do Anexo D, onde se exhibe os valores a inserir neste caso.

Para as paragens de autocarro (pista a vermelho), utilizou-se o parâmetro para o efeito, designado “Transit Stops”, de modo a realizar-se as 9 paragens existentes no lado sul e norte da ALP, onde os utentes podem entrar ou sair dos autocarros.



Figura 31 – Trajecto Estação – ALP percorrido exclusivamente pelos autocarros, com as correspondentes paragens de autocarros (pista a vermelho).



Figura 32 - Trajecto ALP – Estação percorrido exclusivamente pelos autocarros, com as correspondentes paragens de autocarros (pista a vermelho).

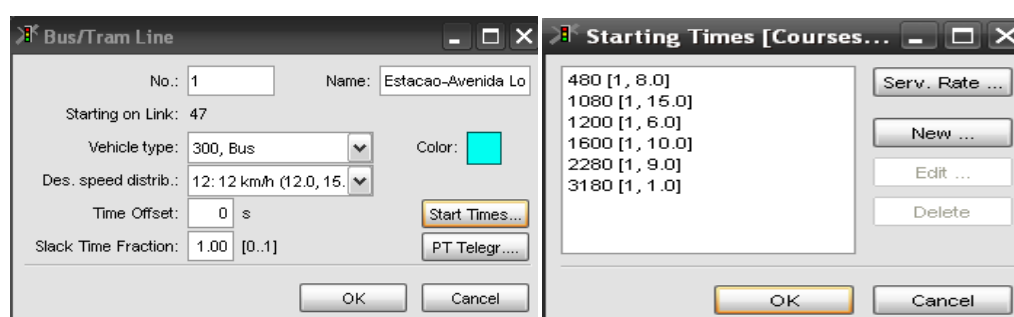


Figura 33 – Parâmetro de configuração da quantidade de autocarros e do tempo de entrada de cada um durante a simulação.

A escolha de rotas efectuou-se, recorrendo aos dados obtidos na secção de recolha de dados reais e trabalho de campo, realizando-se a distribuição dos vários tipos de veículos pelas respectivas rotas, tanto para a hora de vazio como para a hora de ponta.

Em relação às áreas de redução de velocidade, recorreu-se à secção supracitada para se inserir os dados nos campos apropriados, de modo a validar cada área para o efeito pretendido.

No que diz respeito às intersecções, optou-se por elaborar as mesmas através de duas formas, ou seja, utilizando as regras de prioridade para cruzamentos e as áreas de conflito para rotundas.

Na sinalização luminosa, elaborou-se, com base nos dados da secção de recolha de dados reais e trabalho de campo, a temporização dos semáforos da ALP.

Os dados de saída serão obtidos recorrendo ao parâmetro designado por “Link Evaluation” (Figura 34) que consiste em obter os resultados da simulação com base numa área de ligações activas, em vez de ser em veículos individuais. Os dados de saída são sobre os veículos que passam nessas vias para um intervalo de tempo de uma hora (definido pelo utilizador). A saída de dados é descarregada através de uma base de dados em ACCESS.

Os dados de saída pretendidos foram as emissões de Monóxido de carbono (CO), de Dióxido de Carbono (CO₂), Hidrocarbonetos (HC) e Óxidos de azoto (NO_x) dos veículos e respectivos consumos.

Neste caso, e devido às limitações do parâmetro de emissões do VISSIM não permitir a escolha em conjunto de mais do que um tipo de categoria de veículo por poluente, optou-se por escolher as emissões dos veículos ligeiros de passageiros, visto que mais de 60% do tráfego é constituído por essa categoria de veículo (Figura 34).

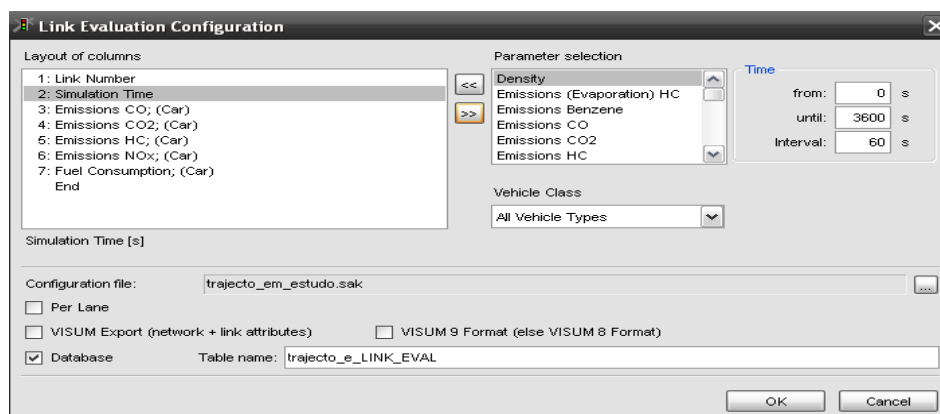


Figura 34 – Janela do parâmetro Link Evaluation.

No parâmetro de simulação, manteve-se os parâmetros padrão, modificando apenas os seguintes dados:

- Tempo de duração: 3600 segundos;
- Número de ensaios: 10.

4.4.2 Cenário 1

Neste novo cenário, todos os pressupostos considerados no cenário base se mantiveram, mas foram inseridos incidentes ao longo da ALP. Este cenário descreve, ao nível de emissões e consumos, os problemas de muitas cidades, que são os incidentes. Neste caso, os incidentes criados serão estacionamentos em segunda fila ou acidentes sempre na via da direita, tanto em hora de ponta como em hora de vazio normal e a duração de cada incidente será, o tempo total de simulação.

Inicialmente, criou-se um incidente, na via referida anteriormente, e no sentido ALP – Estação. Após a simulação deste incidente na rede de tráfego, inseriu-se dois incidentes e efectuou-se a respectiva simulação, até um número máximo de treze incidentes consecutivos, uma vez que se observou que o aumento do número de incidentes a partir desse número, não iria acarretar maiores consequências para o fenómeno de congestionamento.

A ordem de criação destes incidentes foi prevista da seguinte forma. Criou-se o primeiro incidente, no início do arco ALP – Estação (posição 75 metros), o segundo incidente foi no fim do arco ALP – Estação, para delimitar os restantes incidentes (posição 650 metros). O terceiro incidente inseriu-se a 100 metros do primeiro e o quarto a 100 metros do último. Da mesma forma, aplicou-se o mesmo método para quinto, sexto e sétimo incidente. Contudo, o sexto incidente foi aplicado a 100 m do precedente, mas devido ao facto desse incidente ficar a obstruir a paragem de autocarro, optou-se por se alterar a distância de paragem do incidente, de modo a não interferir com o fluxo normal de tráfego.

No caso do oitavo ao décimo-terceiro incidente, efectuou-se de uma maneira diferente, visto que não era possível introduzir mais nenhum incidente a uma distância de 100 metros de diferença dos outros. Então optou-se por se inserir os incidentes (do oitavo até ao décimo-terceiro) entre os dois incidentes previamente existentes, com uma distância de 50 metros entre os mesmos, sempre que fosse exequível. Nos casos que não sejam exequíveis, caso do décimo e do décimo-segundo incidente, optou-se por distâncias menores ou maiores consoante a situação, de modo a não obstruir nenhum cruzamento ou paragem de autocarro.

A Figura 35 representa a localização e respectiva ordenação dos incidentes.

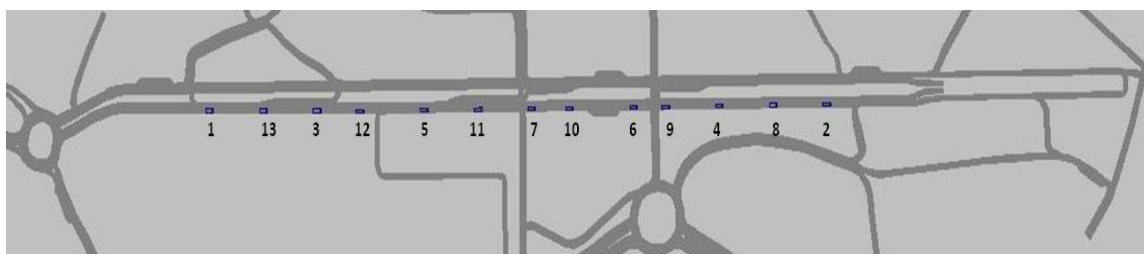


Figura 35 – Localização e ordenação dos incidentes simulados no sentido ALP - Estação.

4.4.3 Cenário 2

Este cenário é análogo ao anterior, somente se observa a outra faixa de rodagem, no sentido Estação – ALP. O método de inserção de incidente foi o mesmo. Exceptuando o décimo-primeiro e o décimo-segundo, por não estarem a 50 metros de cada incidente antecedente e precedente, uma vez que se encontram a obstruir a entrada/saída dos autocarros da paragem ou de um cruzamento.

A Figura 36 representa a localização e respectivos números de ordenação dos incidentes.



Figura 36 – Localização e ordenação dos incidentes simulados no sentido Estação – ALP.

4.4.4 Cenário 3

Neste caso, os incidentes criados serão estacionamento em segunda fila ou acidentes sempre na via da direita, mas com o detalhe de serem colocados nas duas faixas de rodagem, no sentido norte e sul da ALP, tanto em hora de vazio normal como em hora de ponta. A duração de cada incidente é igual ao tempo de simulação, de 3600 segundos.

O cenário tem um máximo de vinte e cinco incidentes nas duas faixas de rodagem. Inseriu-se até a um número máximo de vinte e cinco incidentes consecutivos, uma vez mais observou-se que o aumento do número de incidentes a partir desse valor, não iria acarretar maiores consequências para o fenómeno de congestionamento da ALP.

O método de inserção de incidentes é semelhante aos anteriores. Iniciou-se no sentido ALP – Estação, com o primeiro incidente a situar-se no início do arco (posição 75 m). Neste caso, o segundo incidente situa-se no início da outra faixa de rodagem, no sentido Estação – ALP (posição 75 m). Em relação ao terceiro e quarto incidentes, situam-se no final de cada respectivo arco (posição 650) de cada faixa de rodagem, os quais servem para limitar o final de incidentes em cada faixa de rodagem. Os restantes incidentes foram inseridos de um modo sequencial, com uma distância de 50 metros uns dos outros, alternando sempre como os dois primeiros incidentes.

O nono, décimo, décimo-segundo, décimo-quarto, décimo-quinto, décimo-sétimo e vigésimo incidente, não cumpriram a distância estabelecida, devido a estarem a obstruir algum cruzamento ou saída/entrada de autocarros nas paragens respectivas.

A Figura 37 representa a localização e ordenação dos incidentes nas duas faixas de rodagem da ALP.



Figura 37 – Localização e ordenação de incidentes nos sentidos ALP – Estação e Estação – ALP.

4.4.5 Cenário 4

Este cenário, é considerado um cenário futuro de elevada importância, visto que a implementação de uma via única para autocarros poderia prenunciar uma redução de tráfego rodoviário na cidade e consequente redução de emissões. Este cenário, é o panorama onde se alia o aumento da eficiência dos transportes colectivos em contraste com a redução de fluxo de tráfego rodoviário.

A criação da via única para autocarros foi elaborada nas duas faixas de rodagem e simuladas tanto em hora de vazio normal como de ponta.

Neste caso, foram propostos dois casos de estudo. O primeiro foi a criação do caso real. Somente se eliminou uma via para tráfego para todas as categorias de veículos, e apenas circulando autocarros. A outra via mais à esquerda, é a única via onde é permitida a circulação dos veículos restantes. No segundo caso de estudo, optou-se por uma redução do tráfego de todas as categorias de veículos (excepto, os autocarros) em 25% e por um aumento do número de transportes colectivos a circular nas duas vias exclusivas, a fim de se estudar qual seria a redução de emissões e consumos, no respectivo caso de estudo.

Ambos os casos foram comparados ao cenário base, para se averiguar até que ponto é viável esta situação.

4.4.6 Cenário 5

Este último cenário, consiste numa análise inicial dos sistemas de gestão de incidentes/emergências (SGI).

Este sistema é importante na detecção precoce de um incidente, ou seja, quando ocorre um incidente, especificamente, acidente ou avaria de um veículo, o perigo nesse local aumenta, devido ao facto do(s) veículo(s) envolvidos bloquear(em) uma parte ou a totalidade da via, podendo provocar acidentes com consequências mais graves do que o incidente inicial. Este problema pode ser reduzido se o incidente for imediatamente detectado e se o local for devidamente protegido [16].

Este sistema poderá ser efectuado por um centro de controlo, através da monitorização de câmaras de vídeo ao longo da ALP, que permitirão observar todos os incidentes e enviar

mensagens para painéis de mensagem variáveis existentes, de modo a alertar os condutores no caso de acidente ou encerramento da via [16].

Neste caso simulou-se um suposto “acidente” que bloqueia a faixa de rodagem da ALP, no sentido ALP – Estação, desviando os condutores que (desconheçam e/ou) queiram ir para Estação dos Comboios por uma via alternativa e viável (figura 38).

Para este estudo considerou-se que não seria suficiente a observação apenas dos dados obtidos das duas ligações ALP norte e sul, por isso, teve-se o cuidado de observar todas as ligações que são representadas com uma linha amarela na Figura seguinte, incluindo as ligações anteriormente citadas.

Este cenário foi comparado com o caso de inexistência de incidentes, de modo a verificar a eficiência deste tipo de sistema.



Figura 38 – Acidente (azul) na faixa de rodagem no sentido ALP – Estação e desvio alternativo (amarelo) indicada por um painel de mensagem variável.

5 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos durante toda a fase de simulação serão apresentados neste capítulo, bem como a discussão dos mesmos. Serão abordados os diversos cenários descritos no capítulo anterior.

Pretende-se analisar nos cenários do capítulo anterior, as emissões poluentes e os consumos dos veículos em análise. Estes parâmetros, serão analisados sempre em dois horários distintos, designados de hora de vazio normal e de hora de ponta.

Neste capítulo, os resultados serão apresentados de dois modos. O primeiro modo será o resultado por veículo, ou seja, as emissões e consumos por veículo, onde se comparará os resultados em hora de vazio normal (HVN) e em hora de ponta (HP). O segundo modo será resultado em termos médios, ou seja, realizou-se dez simulações, as quais se retirou a média dessas mesmas e se demonstrou ao longo de uma hora de simulação.

Os resultados mais detalhados de todos os cenários encontram-se no Anexo H.

5.1 Cenário 1

5.1.1 Emissões e Consumos por veículo

Inicialmente neste cenário é importante comparar os poluentes e os respectivos consumos, com o aumento de incidentes ao longo da ALP, tanto em hora de vazio normal como em hora de ponta. No caso das Figuras 39 a 43 apresenta-se a análise de emissões no sentido ALP - Estação, de forma a ter-se a percepção de qual seria o impacto do aumento dos incidentes nas horas em estudo.

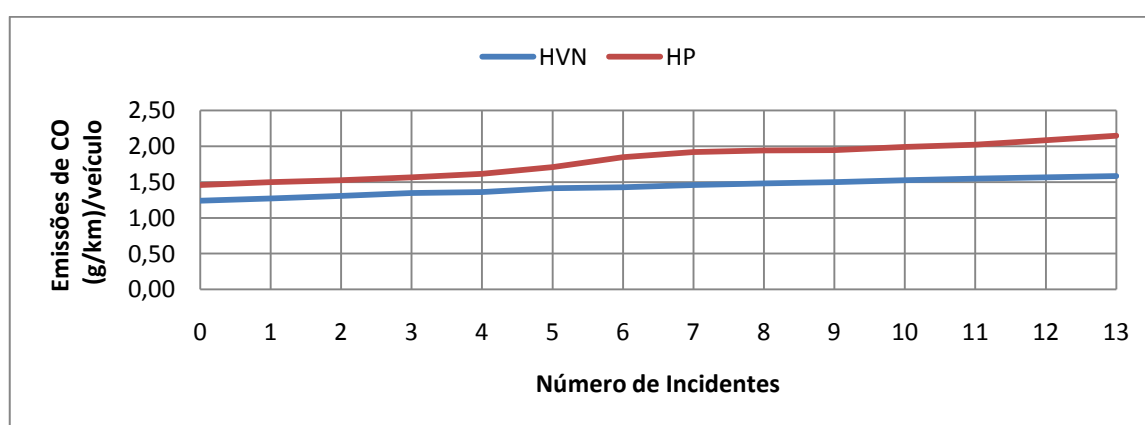


Figura 39 – Emissões de CO por veículo versus aumento do número de incidentes.

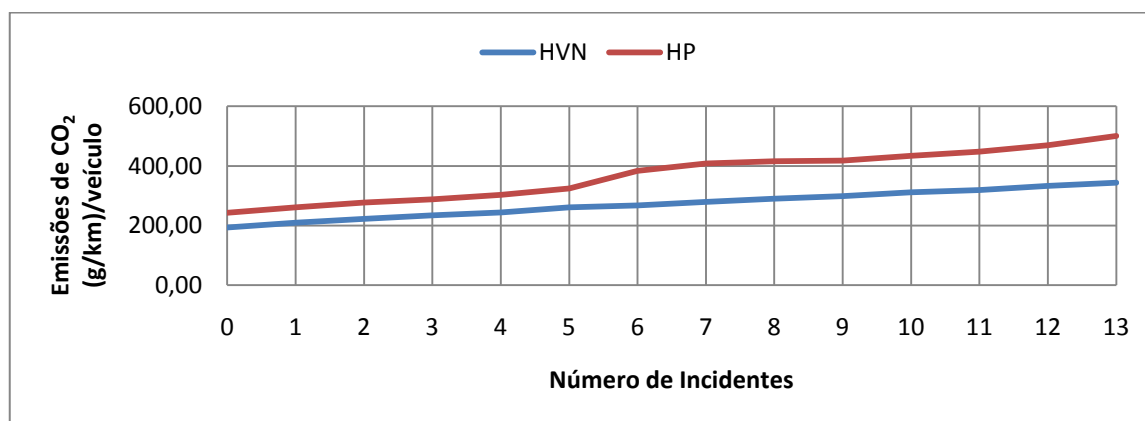


Figura 40 – Emissões de CO₂ por veículo versus aumento do número de incidentes.

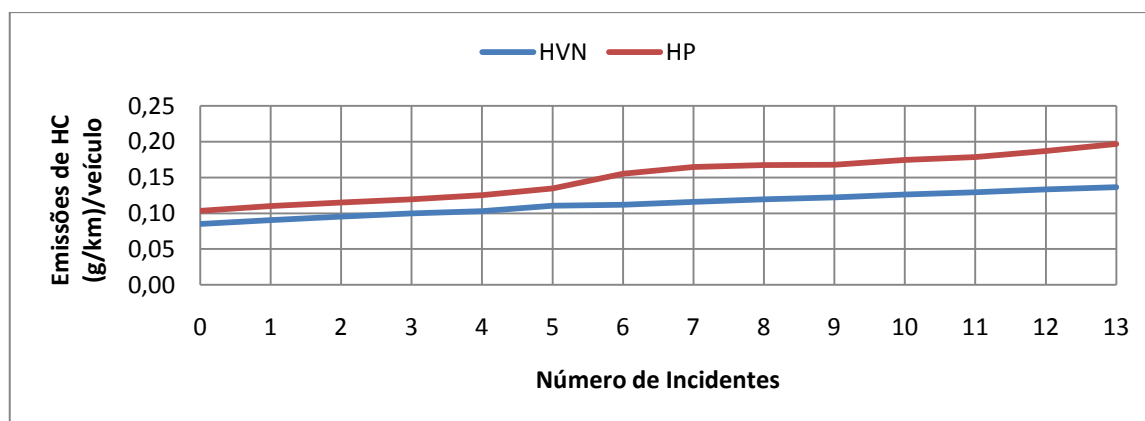


Figura 41 - Emissões de HC por veículo versus aumento do número de incidentes.

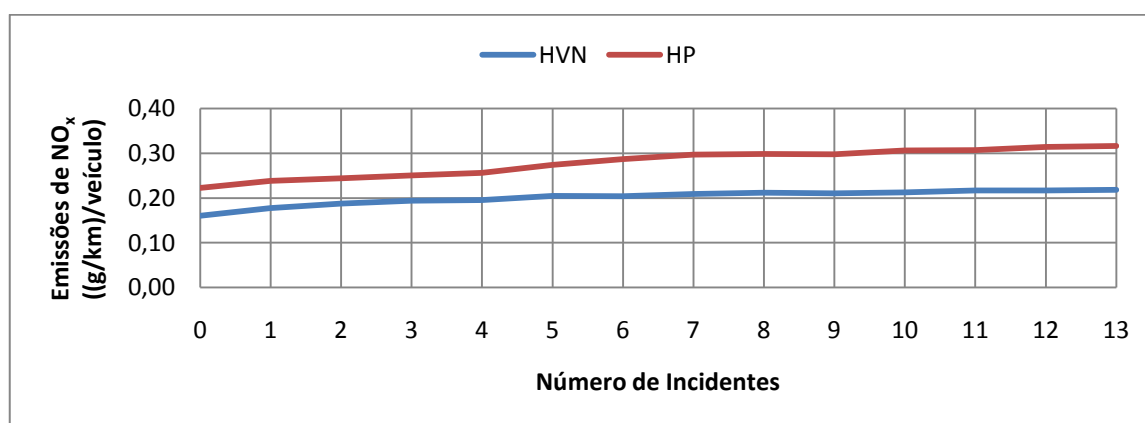


Figura 42 - Emissões de NO_x por veículo versus aumento do número de incidentes.

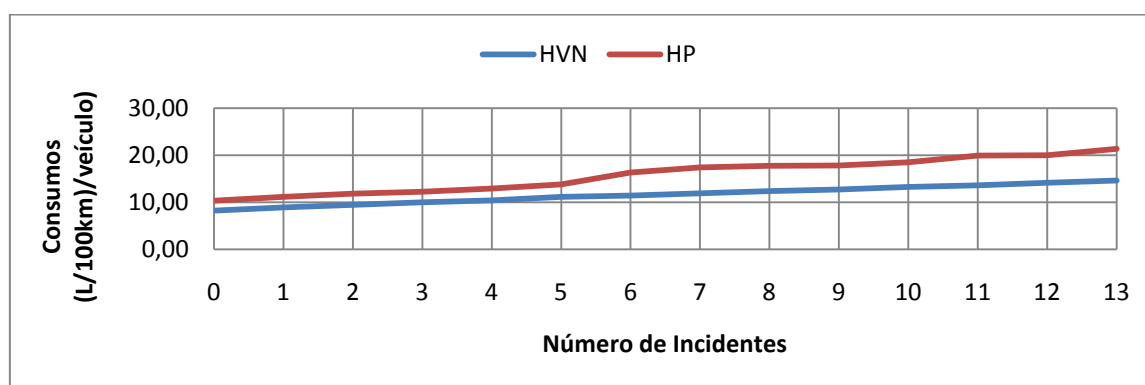


Figura 43 – Consumo de combustível por veículo versus aumento do número de incidentes.

Todos os valores de emissões e de consumo de hora de vazio normal para a hora de ponta, têm um aumento de cerca de 25%, que é justificado através do aumento de tráfego de uma hora para outra na ordem dos 35%, criando um maior nível de congestionamento, aumentando assim, imediatamente as emissões e o consumo.

É a partir do quinto incidente em hora de ponta, que as emissões e o consumo têm um aumento mais significativo, na ordem dos 15 %, exceptuando-se as emissões de CO e NO_x, que não sofrem aumentos significativos (inferiores a 5%). Este incremento supracitado deve-se à localização do incidente em causa, visto que se verificou ao longo da observação da simulação, que seria um dos pontos críticos da ALP, no sentido ALP – Estação. Com a presença do incidente naquela via, o mesmo implicará uma diminuição na circulação de condutores naquela faixa de rodagem principal. Outro dos problemas, é a existência de uma via adjacente, que permite a mudança de direcção e a respectiva paragem de veículos naquele troço adjacente (devido ao sinal luminoso), o que provocará a obstrução completa da faixa de rodagem, criando assim um maior congestionamento de veículos, enquanto o sinal luminoso do troço não permitir a circulação dos mesmos. Outro motivo para o incidente ser tão prejudicial, é a existência de uma via antecedente ao mesmo e perpendicular à principal, que faz com que os veículos que vêm dessa zona, entrem na via principal e encarem com o incidente, aguardando atrás do mesmo a oportunidade de ultrapassagem.

5.1.2 Emissões e Consumo médio

Neste caso, é de salientar, o comportamento do tráfego ao longo do tempo, visíveis através das emissões e do consumo, quando se depara com aumento de n incidentes. A avaliação das emissões e do consumo, será distinta em hora de vazio normal e em hora de ponta.

Nas Figuras seguintes 44 a 48 são demonstradas as emissões e o consumo em hora de vazio normal para o caso sem incidentes e para o número considerado máximo de incidentes. Neste caso, existe um total de 1265 veículos a percorrer a ALP.

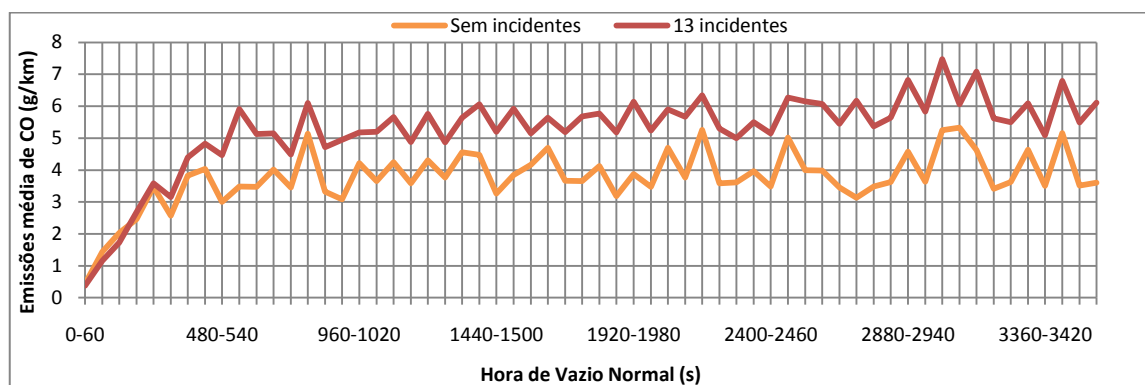


Figura 44 – Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

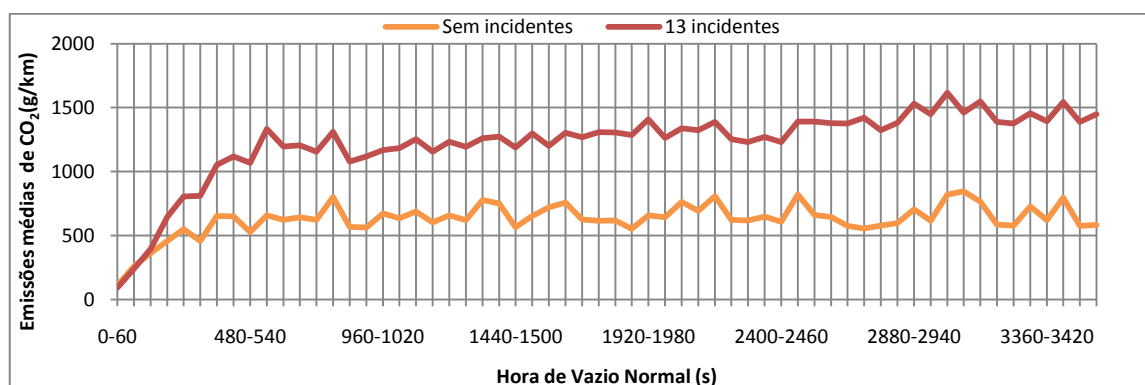


Figura 45 – Emissões médias de CO₂ para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

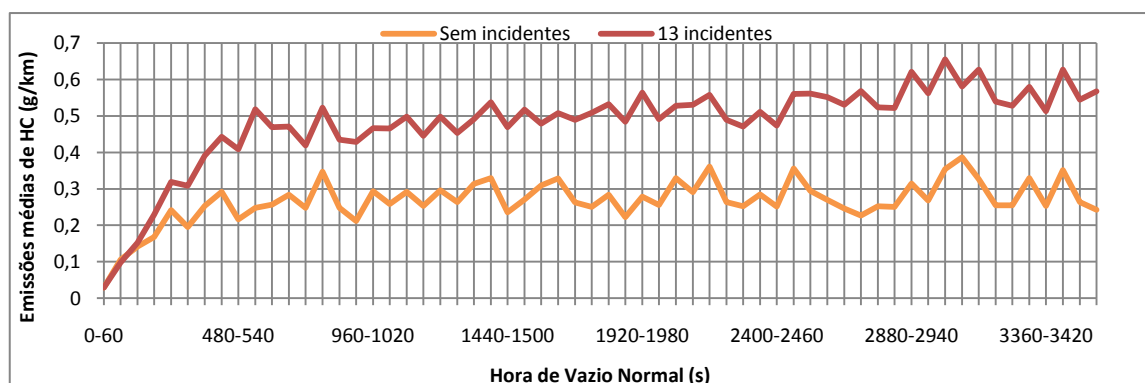


Figura 46 – Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

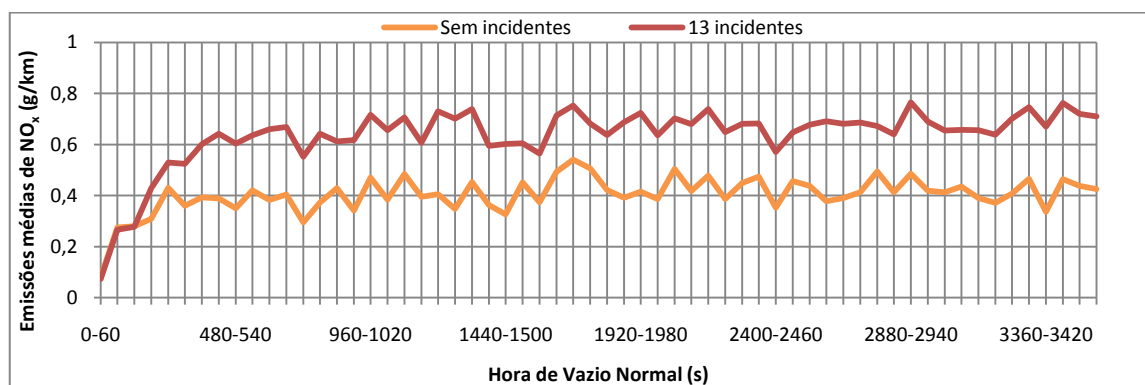


Figura 47 – Emissões médias de NO_x para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

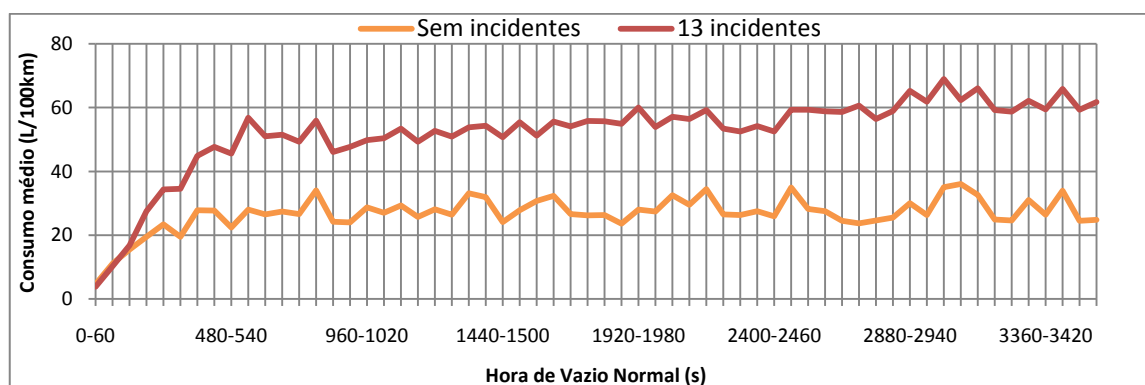


Figura 48 – Consumo médio para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

Na hora de vazio normal, o intervalo de tempo onde as emissões são mais prejudiciais, ou seja, onde ocorrem os máximos de emissões, é das 11h48 até 12h. Tal acontece, devido aos inúmeros incidentes existentes (o que provoca a circulação em apenas uma das vias) e com o aumento gradual do número de veículos o congestionamento agrava-se ao longo do tempo. O consumo de combustível uma vez que tem o mesmo perfil que as emissões de CO_2 , atinge os máximos de consumo durante o período supracitado.

As diferenças percentuais entre os gráficos, sem incidentes e com o número considerado máximo de incidentes, são cerca de 50% para as emissões de CO_2 , HC e consumo de combustível, e cerca de 25% para os outros dois poluentes. O que demonstra que os poluentes como CO_2 e HC têm um maior crescimento, devido ao facto de existir um maior número de acelerações e desacelerações bruscas, e consequentemente maior exigência sobre o motor. Em contrapartida a emissão de CO tem um valor inferior ao de HC, visto que a libertação do poluente HC, não depende unicamente da combustão incompleta do combustível mas também provém da combustão incompleta da mistura ar-combustível que se aloja nas pequenas fendas existentes entre a parede do cilindro e do pistão, não permitindo a queima das mesmas, saindo estas pela válvula de escape sem terem sido completamente queimadas.

Nas Figuras 49 a 53, pode-se observar as emissões e o consumo de combustível em hora de ponta para o mesmo cenário. Neste caso, existe um total de 1938 veículos a percorrer a ALP

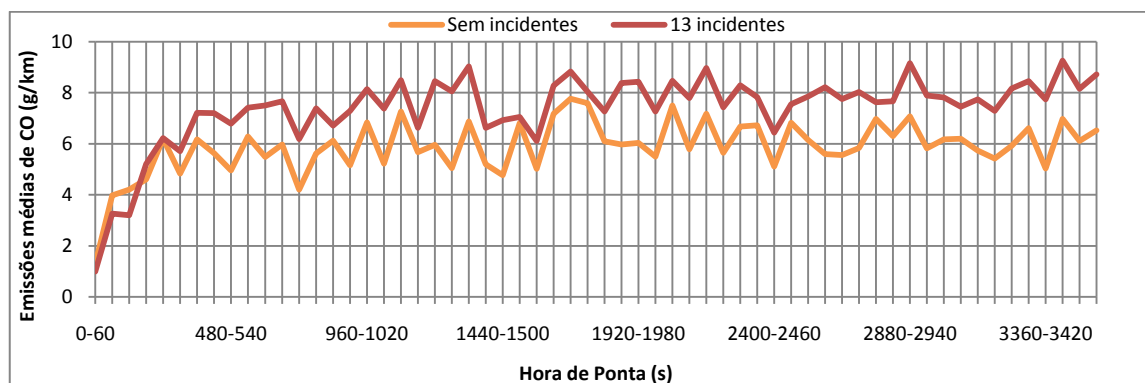


Figura 49 – Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.

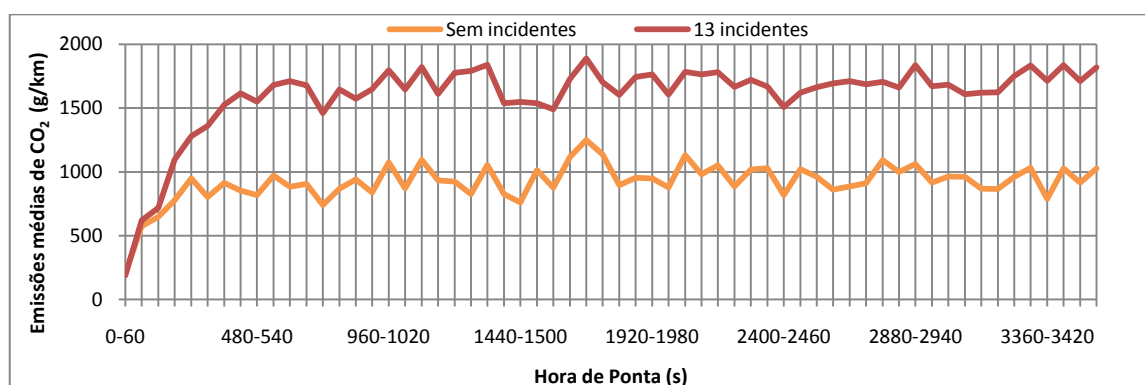


Figura 50 - Emissões médias de CO₂ para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.

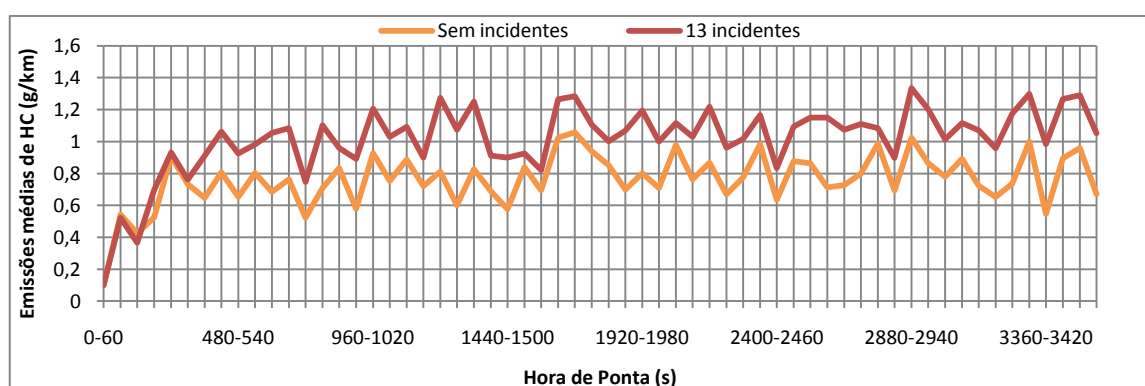


Figura 51 – Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.

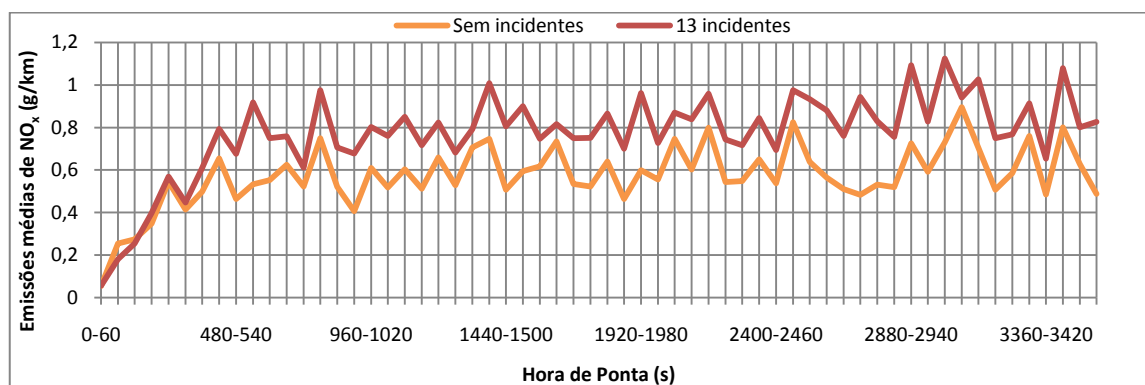


Figura 52 - Emissões médias de NO_x para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.

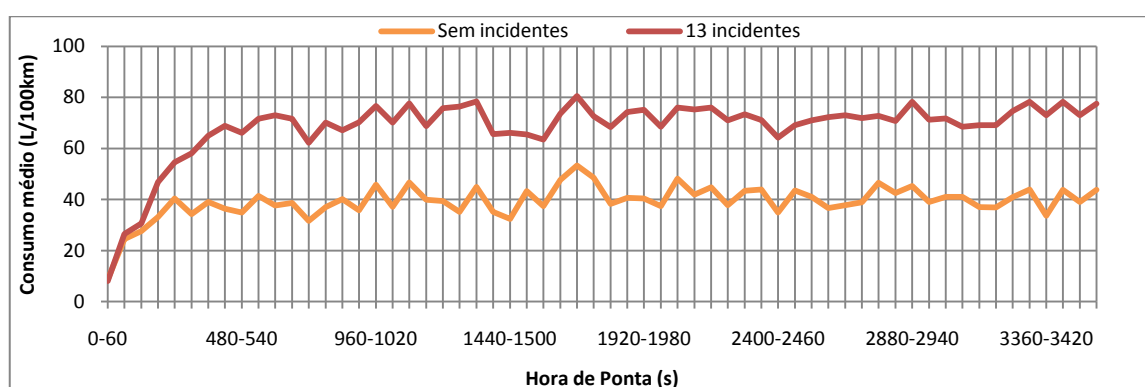


Figura 53 – Consumo médio para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta

Neste caso, existem diversos intervalos de tempo, onde se verificam que as emissões e o consumo são máximos. Os intervalos são das 18h22 às 18h23, das 18h28 às 18h29, das 18h48 às 18h49 e das 18h57 às 18h58. A existência destes, demonstra que na hora de ponta, quer com incidentes, quer sem incidentes, a situação é problemática. Mas, a existência de incidentes implica um incremento na ordem dos 50 % das emissões de CO₂, de HC e do consumo de combustível, e de cerca de 25 % dos restantes poluentes. Este aumento deve-se ao mesmo facto referido em hora de vazio normal.

5.2 Cenário 2

5.2.1 Emissões e Consumo por veículo

A única diferença entre este cenário e o anterior é que a faixa rodagem analisada será no sentido oposto, ou seja, no sentido Estação – ALP. Isto servirá, para compreender se existe diferenças entre uma faixa e a outra com o mesmo número de incidentes, e se o comportamento do tráfego é similar. Nas Figuras 54 a 58 são demonstrados os resultados obtidos na zona sul da ALP.

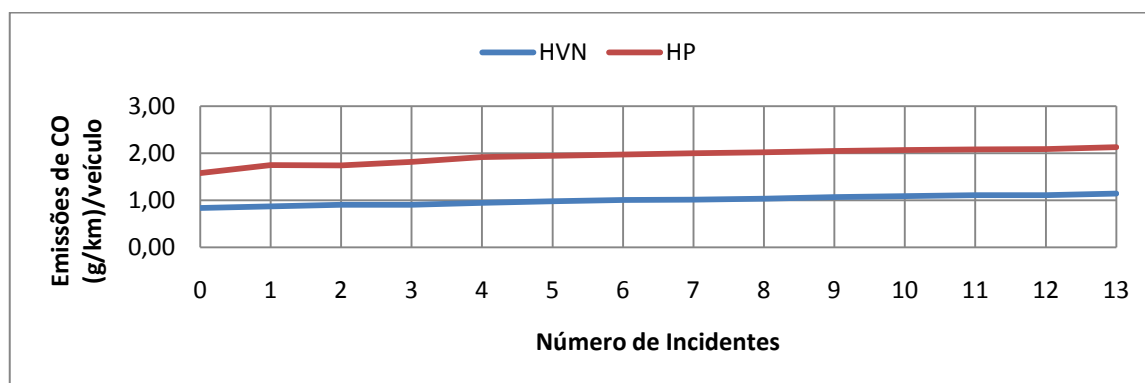


Figura 54 - Emissões de CO por veículo versus aumento do número de incidentes.

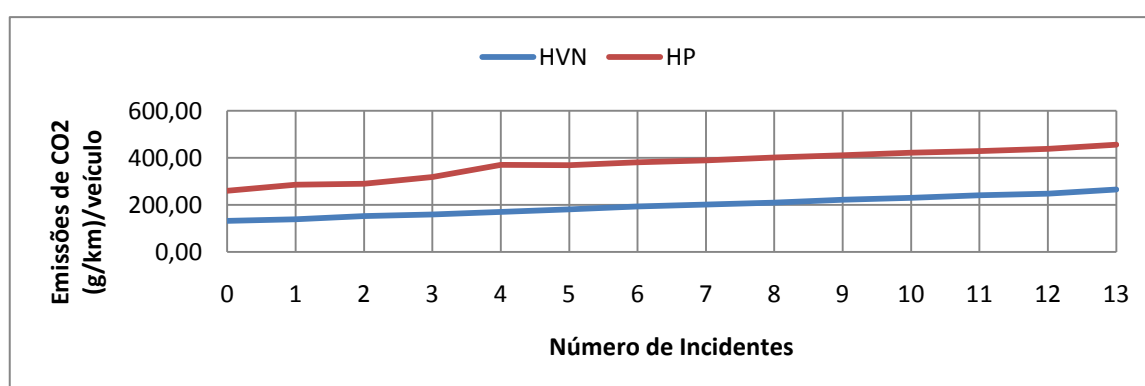


Figura 55 - Emissões de CO₂ por veículo versus aumento do número de incidentes.

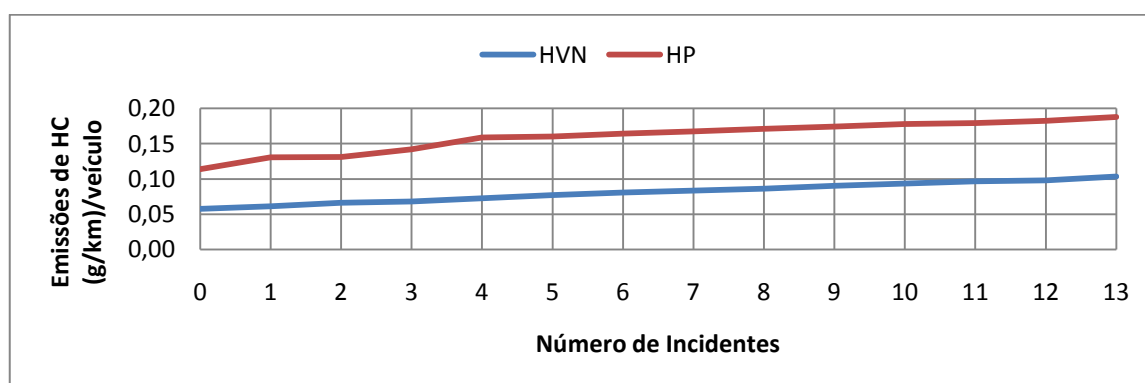


Figura 56 - Emissões de HC por veículo versus aumento do número de incidentes.

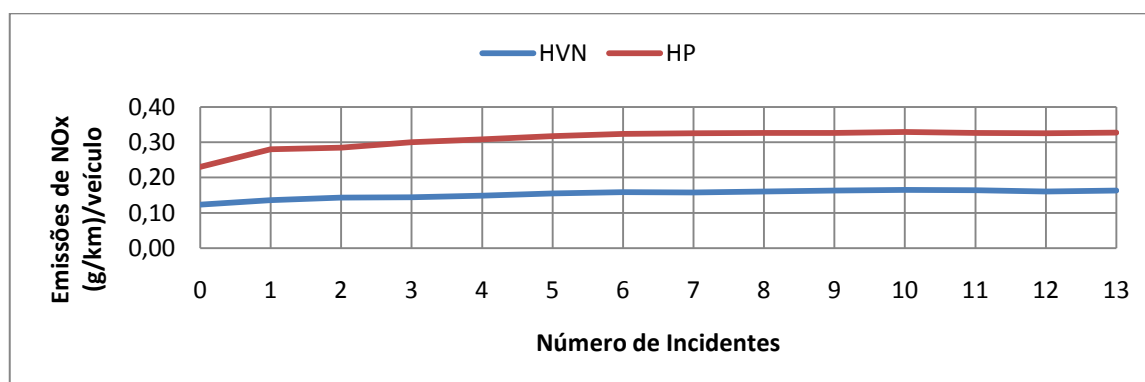


Figura 57 - Emissões de NO_x por veículo versus aumento do número de incidentes.

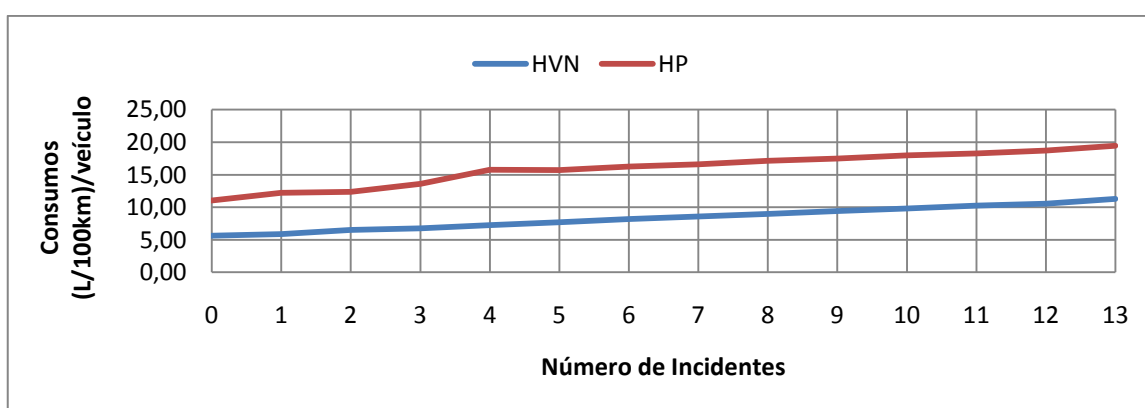


Figura 58 – Consumo de combustível por veículo versus aumento do número de incidentes.

Da hora de vazio normal para a hora de ponta, ocorre um incremento na ordem dos 50 % das emissões poluentes e consumo de combustível, o que é sustentado, pelo aumento do tráfego na ordem dos 35%.

O incidente crítico em hora de ponta, neste caso de estudo, é o terceiro. Após análise dos resultados, constatou-se que as emissões de CO₂, de HC e do consumo de combustível, aumentam significativamente (cerca de 12,5% a 15%) quando ocorre este incidente. Durante a observação dos ensaios, verificou-se que seria um ponto problemático, visto que a localização do mesmo encontra-se próxima de uma via adjacente, que permite a mudança de direcção. Esta mudança de direcção envolve, a espera dos veículos que tencionam seguir em frente, devido ao facto de apenas existir uma via de circulação.

5.2.2 Emissões e Consumo médio

Nas Figuras 59 a 63 são apresentadas as emissões e o consumo de combustível em hora de vazio normal, para o caso sem incidentes e para o número considerado máximo de

incidentes, no sentido Estação – ALP. Neste caso, existe o mesmo número de veículos a percorrer a ALP, como no cenário anterior em hora de vazio normal.

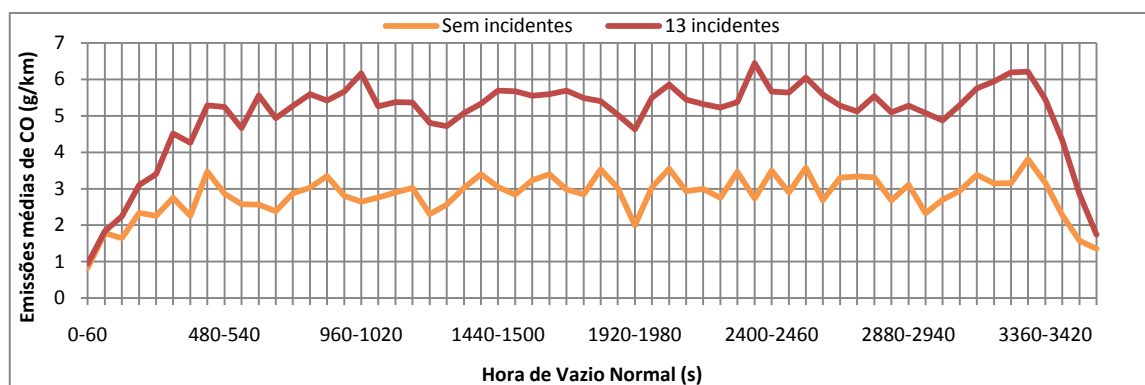


Figura 59 – Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

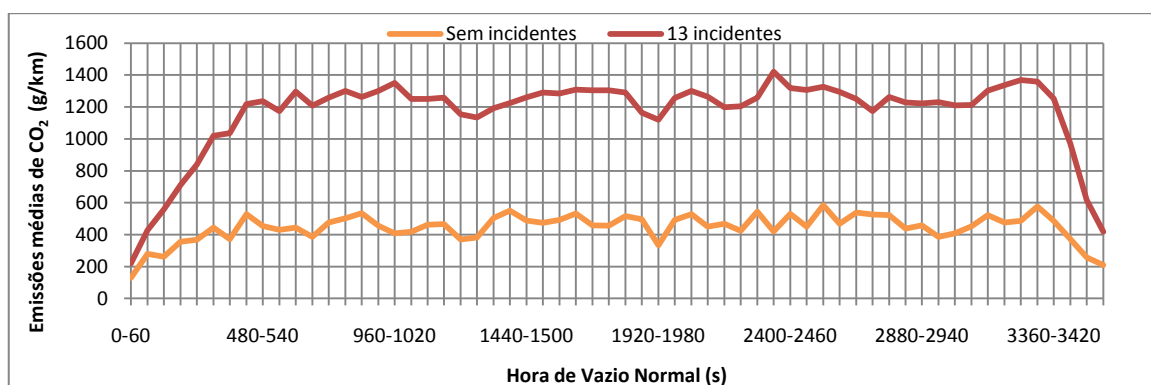


Figura 60 - Emissões médias de CO₂ para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

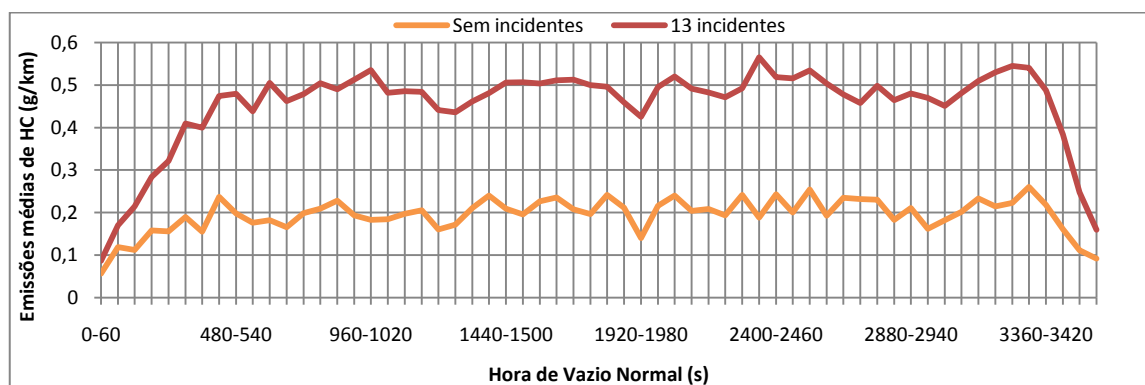


Figura 61 - Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

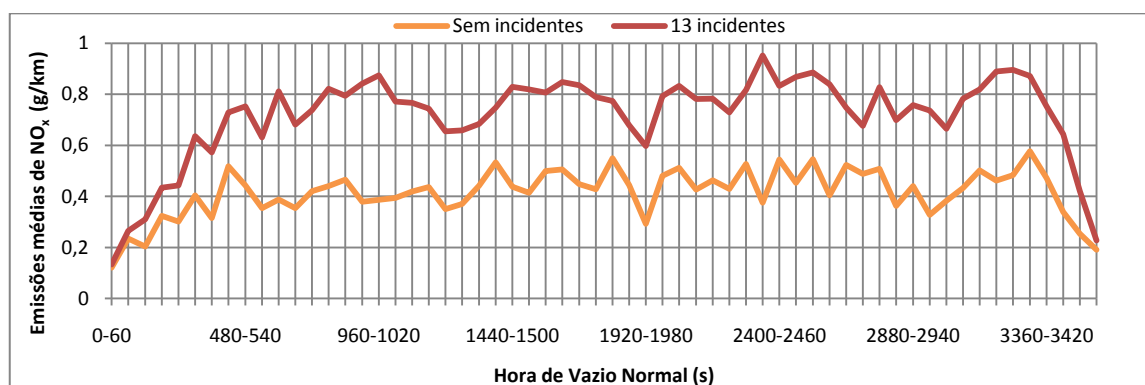


Figura 62 - Emissões médias de NO_x para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

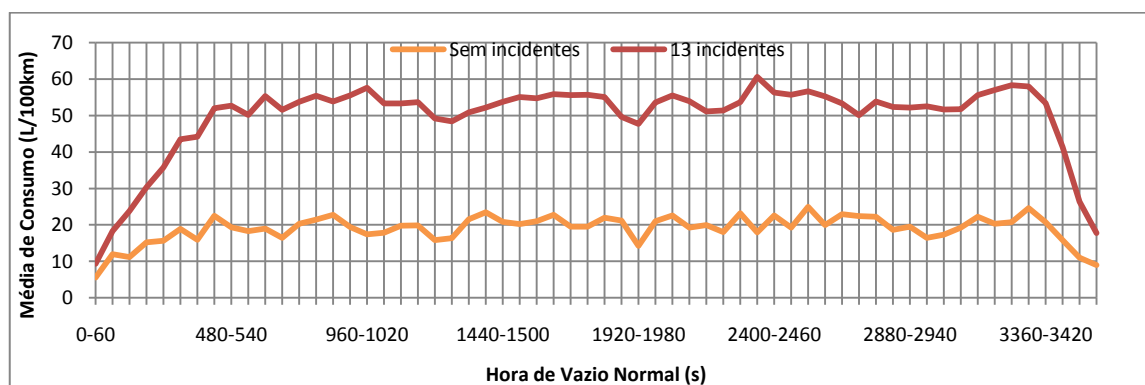


Figura 63 – Consumo médio para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de vazio normal.

Observando a hora de vazio normal, os intervalos de tempo onde ocorrem as emissões máximas, são das 11h16 às 11h17, das 11h39 até às 11h 43 e das 11h54 até às 11h56. Tal acontece, devido aos incidentes existentes que condicionam a circulação da faixa de rodagem e também devido aos sinais luminosos, que provocam o congestionamento do tráfego ao longo da avenida. Os consumos máximos, como é evidente, surgem nos mesmos intervalos de tempo.

As diferenças percentuais entre os gráficos, sem incidentes e com o número considerado máximo de incidentes, são cerca de 60% para as emissões de CO₂, de HC e de consumo de combustível, e cerca de 40% para o CO e o NO_x. Estes aumentos devem-se ao congestionamento provocado por estes incidentes, que obrigam alguns veículos a estarem parados atrás deles. Esta situação provoca no tráfego um movimento de marcha lenta dos veículos da via sem incidentes, para que possam criar lacunas para que os outros veículos possam entrar na via de circulação livre, implicando isto que o motor opere num regime de mistura rica de combustível, causando um aumento das emissões poluentes. Por outro lado, submetem os condutores a estados de ansiedade que levam a acelerações bruscas para efectuarem a respectiva ultrapassagem dos incidentes, provocando estes aumentos significativos das emissões e do consumo, mesmo em hora de vazio normal, onde existe

um baixo índice de circulação em comparação com a hora de ponta. Em relação ao nível de CO ser inferior ao do HC, deve-se ao mesmo motivo supracitado no cenário anterior.

Nas Figuras 64 a 68 apresentam-se as emissões e o consumo de combustível em hora de ponta. Neste caso, existe o mesmo número de veículos a percorrer a ALP, como no cenário anterior em hora de ponta.

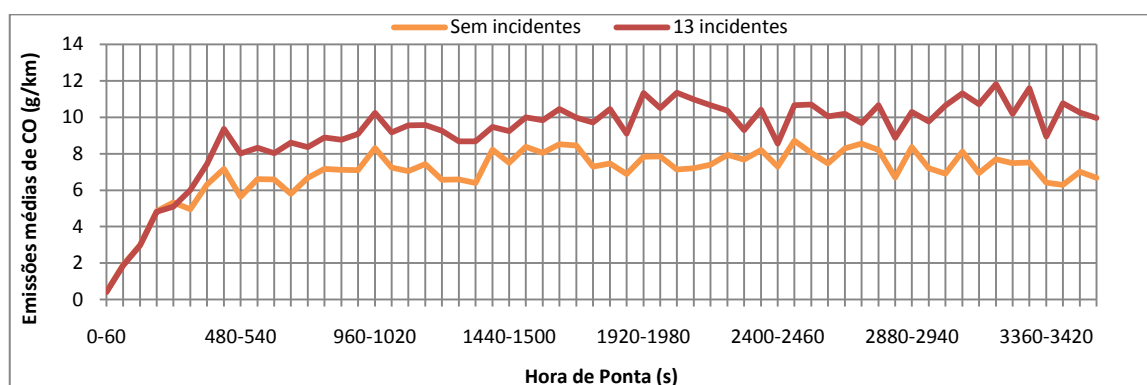


Figura 64 - Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.

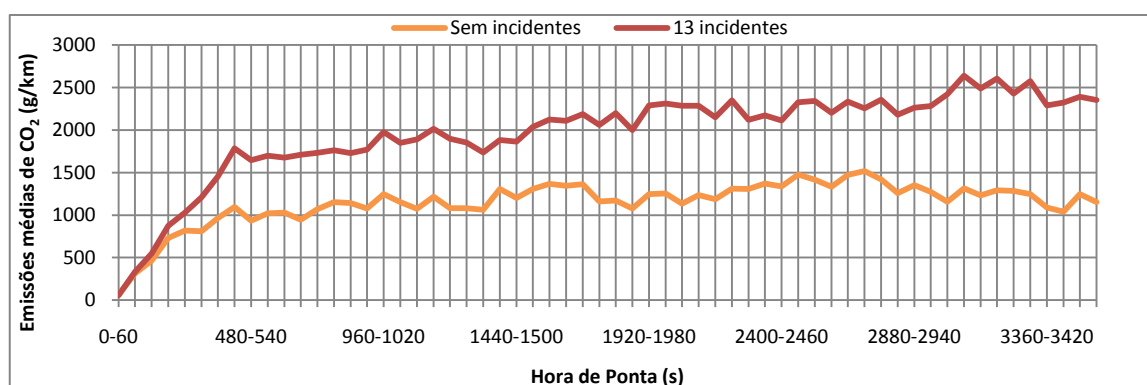


Figura 65 - Emissões médias de CO₂ para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.

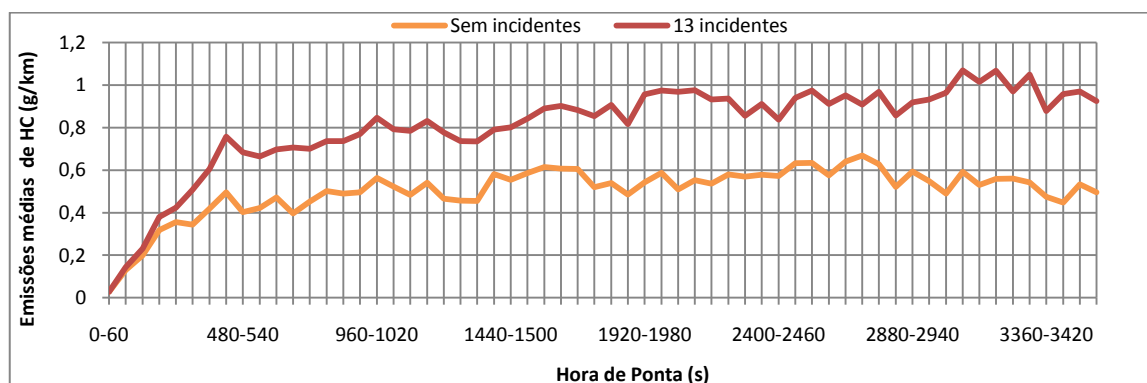


Figura 66 - Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.

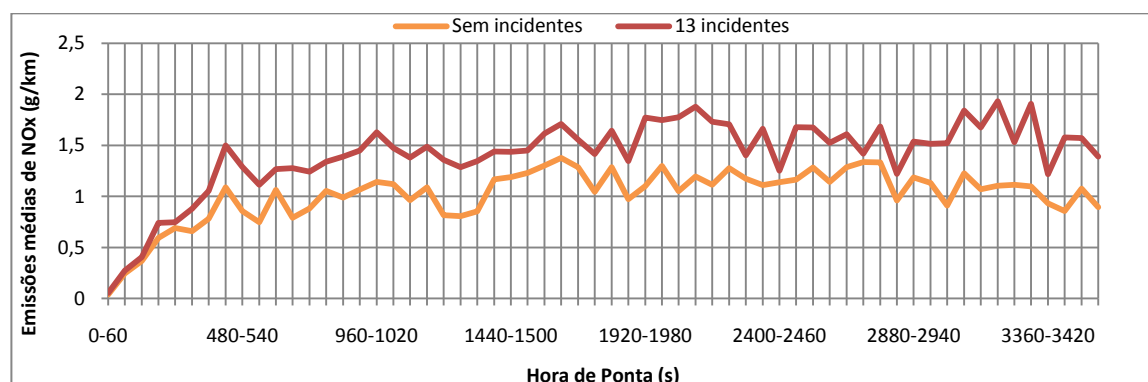


Figura 67 - Emissões médias de NO_x para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.

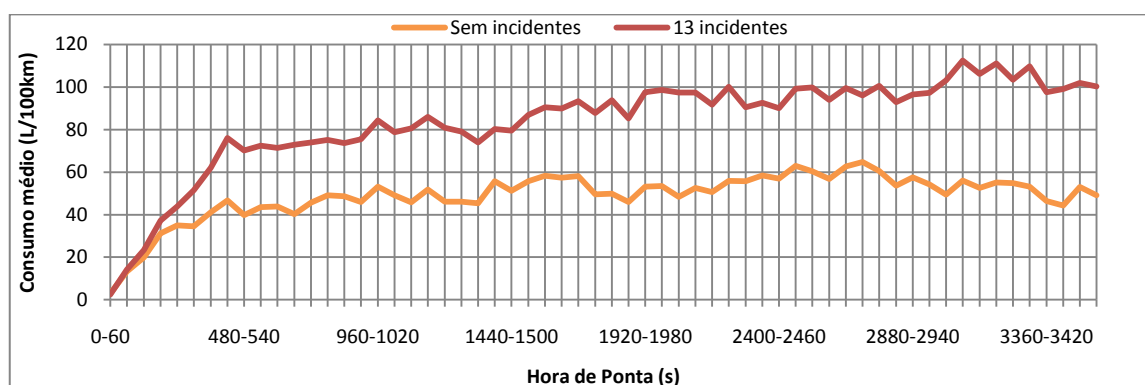


Figura 68 - Consumo médio para o caso sem incidentes e com treze incidentes na hora de ponta.

Neste caso de estudo, o intervalo de tempo onde ocorrem as emissões e os consumos de combustível máximos, é das 18h51 até às 18h56. A presença destes incidentes é responsável pelos problemas de tráfego que ocorrem neste período de tempo, criando um aumento de congestionamento de tráfego e consequentemente o aumento das emissões e do consumo.

As diferenças percentuais entre o caso sem incidentes e com treze incidentes tem um incremento, na ordem dos 40 a 45% das emissões de CO₂, de HC e do consumo de combustível, e cerca de 25 a 30 % das emissões de CO e de NO_x. O aumento destas emissões e consumo deve-se aos mesmos argumentos utilizados acima, para hora de vazio normal.

5.3 Cenário 3

5.3.1 Emissões e Consumo por veículo

Neste cenário, é de máxima relevância conhecer até que ponto, os incidentes ocorridos nas duas faixas de rodagem, afectariam a circulação do tráfego. A análise é realizada com base nos dados das emissões e do consumo de combustível.

Nas Figuras 69 a 73 são exibidos os poluentes e o consumo em função do número de incidentes, tanto na hora de vazio normal com em hora de ponta.

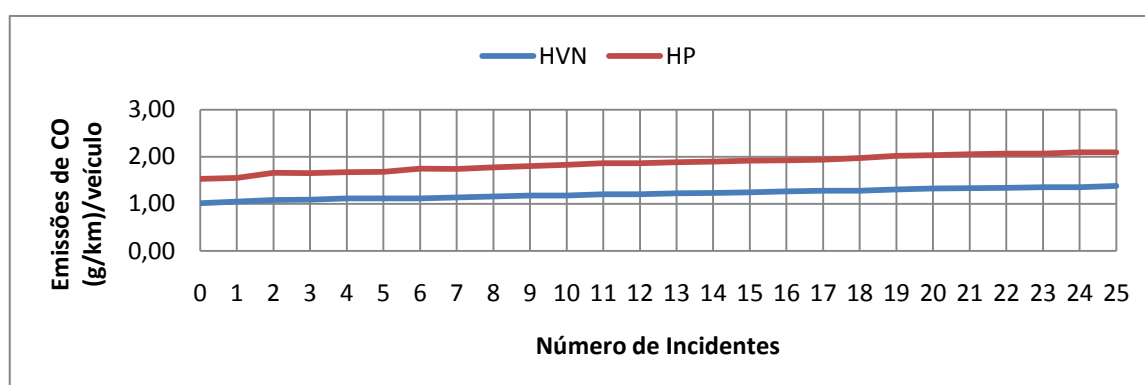


Figura 69 - Emissões de CO por veículo versus aumento do número de incidentes.

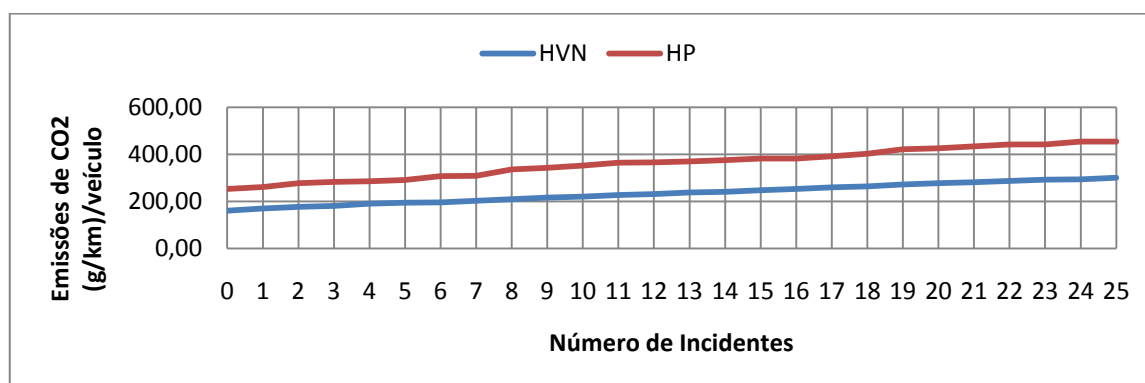


Figura 70 - Emissões de CO₂ por veículo versus aumento do número de incidentes.

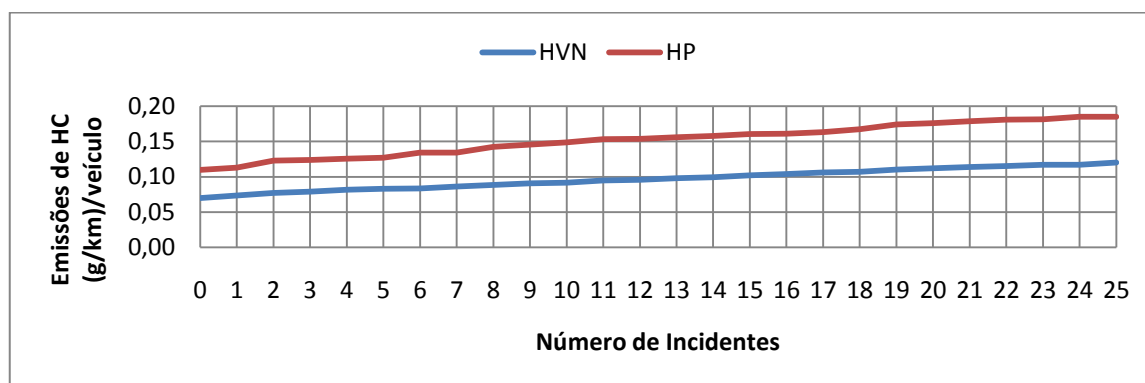


Figura 71 - Emissões de HC por veículo versus aumento do número de incidentes.

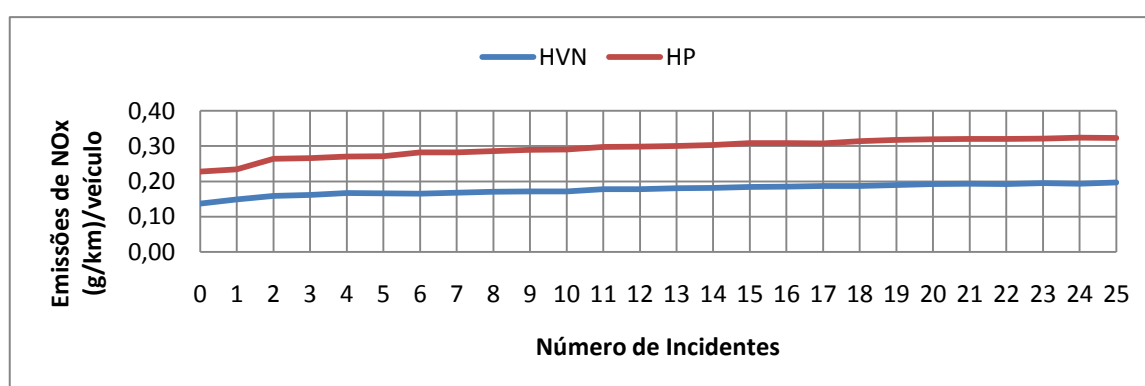


Figura 72 - Emissões de NO_x por veículo versus aumento do número de incidentes.

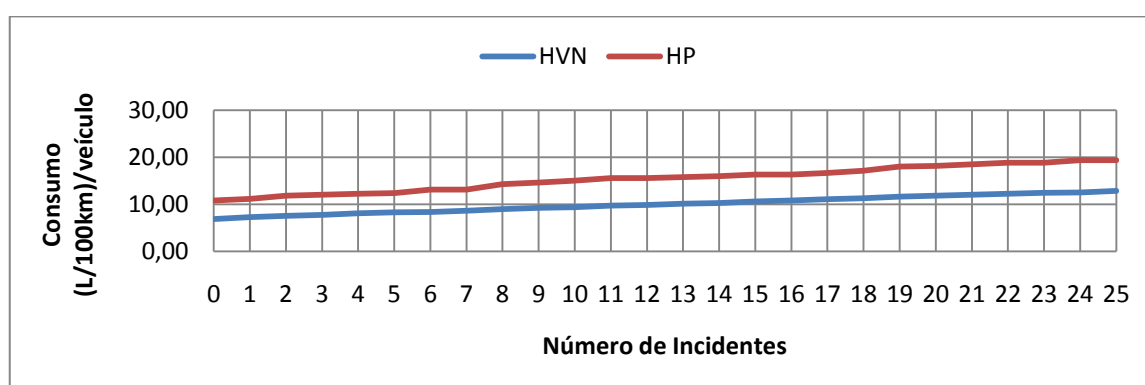


Figura 73 – Consumo de combustível por veículo versus aumento do número de incidentes.

Os valores das emissões e do consumo de combustível da hora de vazio normal para a hora de ponta têm um aumento de cerca de 35%, o que é justificado pelo incremento do fluxo de tráfego de uma hora para outra, cerca de 35%, consequentemente aumentando as emissões e o consumo de combustível.

Neste caso, os incidentes onde se consideram as emissões e o consumo mais prejudiciais são no primeiro, quinto e sétimo incidente em hora de ponta. Contendo aumentos na ordem dos 5 a 11%, 3 a 5% e 3 a 8%, para os respectivos incidentes. Estes localizam-se de uma forma sucessiva no sentido ALP – Estação. A localização dos incidentes, perto de uma via adjacente provoca no início da ALP, um congestionamento inicial, visto que os veículos que queiram efectuar a mudança de direcção terão que esperar pela cor respectiva do sinal luminoso para que possam circular e desimpedir a única via de circulação de modo a permitir a circulação normal do tráfego. No sentido Estação – ALP, não se observa qualquer problema relevante, devido ao tráfego, que após ultrapassagem do primeiro incidente, circula na via da esquerda até ao seu destino.

5.3.2 Emissões e Consumo médio

As Figuras 74 a 78, apresentaram os resultados de emissões para os mesmos parâmetros de configuração que os cenários anteriores. Neste caso, existe o mesmo número de veículos a percorrer a ALP, como nos cenários anteriores em hora de vazão normal.

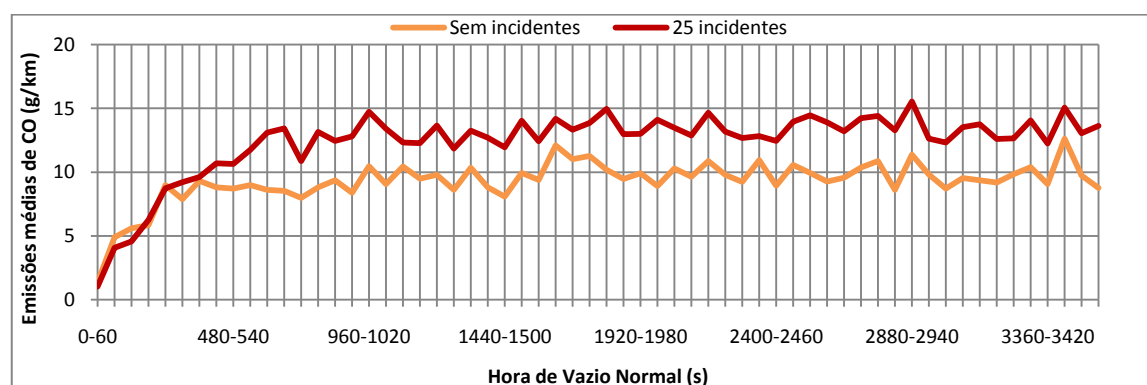


Figura 74 - Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazão normal.

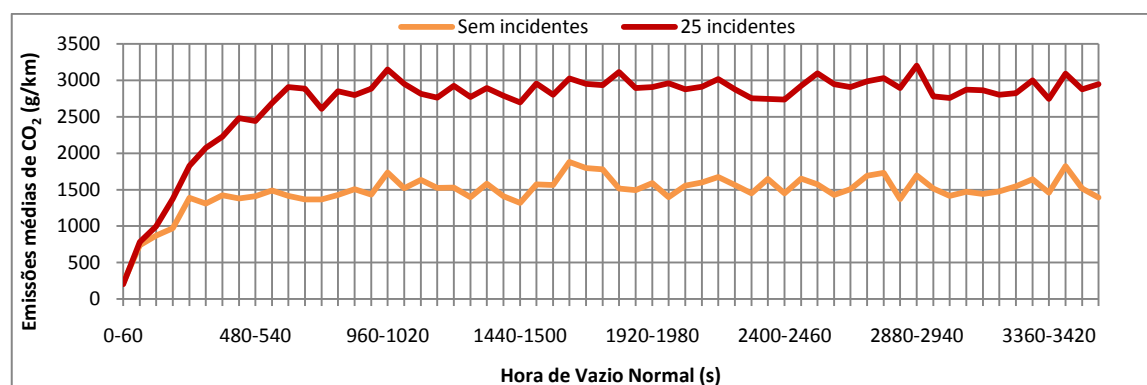


Figura 75 - Emissões médias de CO₂ para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazão normal.

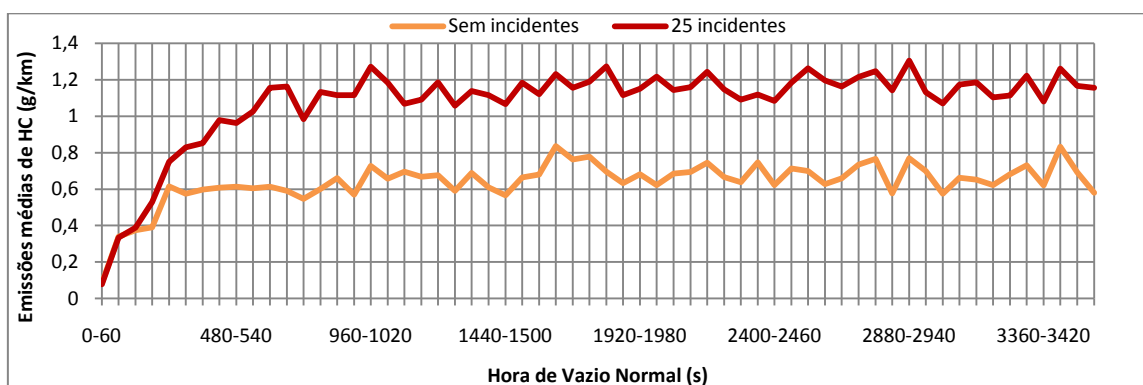


Figura 76 - Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazio normal.

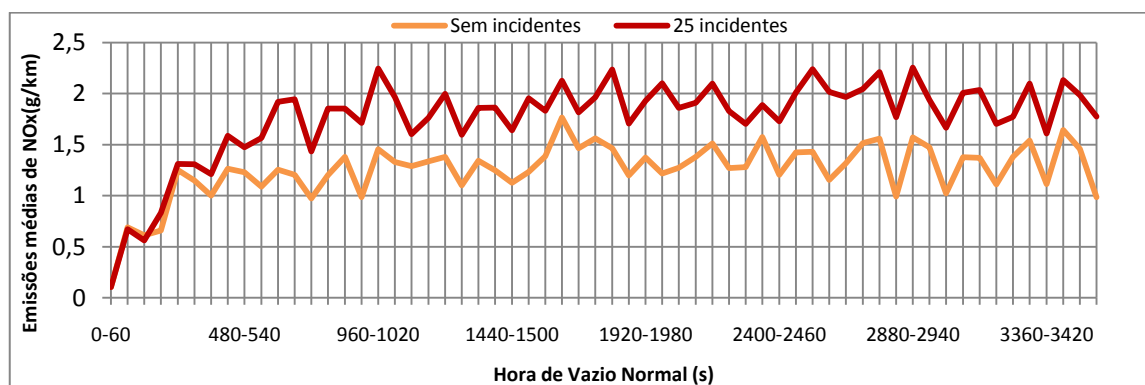


Figura 77 - Emissões médias de NO_x para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazio normal.

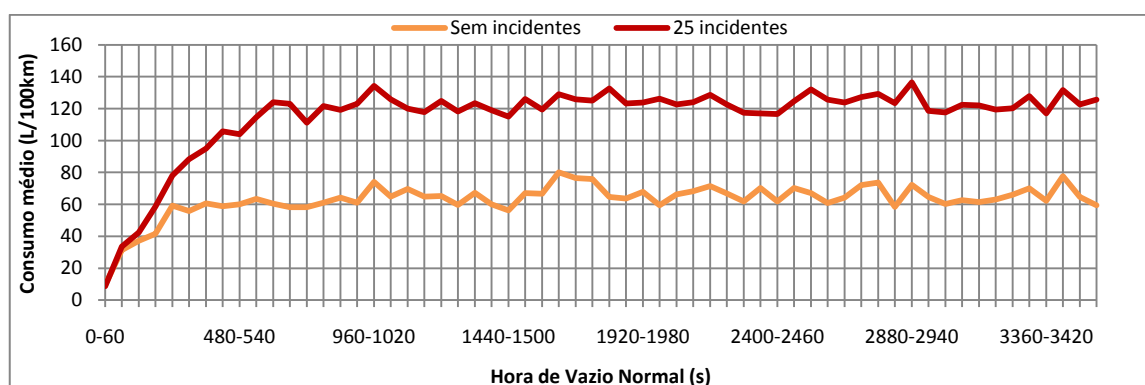


Figura 78 - Consumo de combustível médio para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de vazio normal.

Na hora de vazio normal, os intervalos de tempo onde as emissões são máximas das 11h16 às 11h17, das 11h30 às 11h31, das 11h36 às 11h37, das 11h48 às 11h49 e das 11h57 às 11h58. Isto deve-se ao facto dos incidentes existentes ao longo da ALP implicarem dificuldades para os condutores, apesar do volume de tráfego nessa hora ser baixo.

Em particular a localização dos incidentes e a proximidade dos mesmos com as vias adjacentes provoca muitas vezes a obstrução da única via livre para circulação. Esta obstrução deve-se ao facto dos veículos dessas vias adjacentes criarem uma fila na via de circulação única (visto que a outra via da faixa está semi-impedida pelos incidentes) até que tenham lugar para entrar na via adjacente, não permitindo a circulação do tráfego enquanto o sinal luminoso respectivo obrigar a estarem parados. Por este motivo, considera-se esta ocorrência um factor muito relevante para o aumento das emissões e do consumo de combustível, desenvolvendo um fenómeno de congestionamento de tráfego rodoviário.

As diferenças percentuais entre os gráficos, sem incidentes e com vinte e cinco incidentes, são cerca de 40 a 45% para as emissões de CO₂, HC e consumo, e cerca de 25 a 30% para os outros dois poluentes. Estes incrementos nas emissões e no consumo de combustível, devem-se aos factos acima mencionados que são característicos de uma situação de congestionamento rodoviário.

Da mesma forma que se analisou para a hora de vazio normal, o mesmo acontecerá nas figuras seguintes (Figuras 79 a 83), para a hora de ponta. Neste caso, existe um total de 1938 veículos a percorrer a ALP

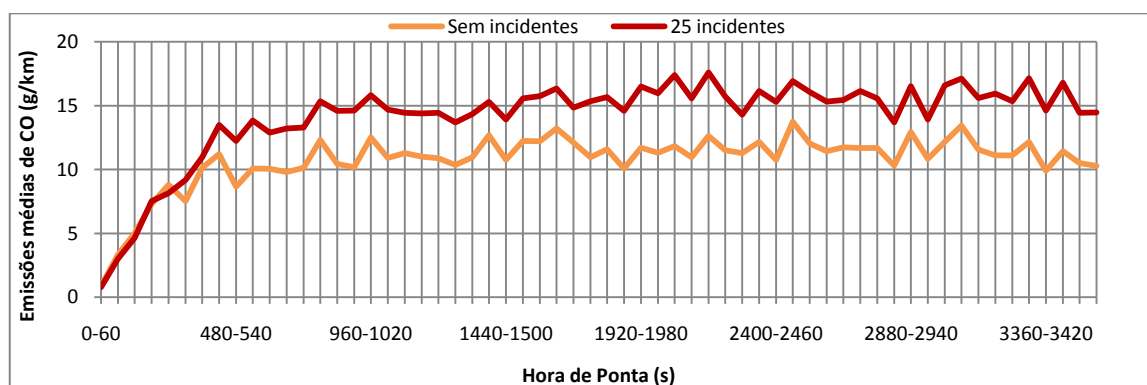


Figura 79 - Emissões médias de CO para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.

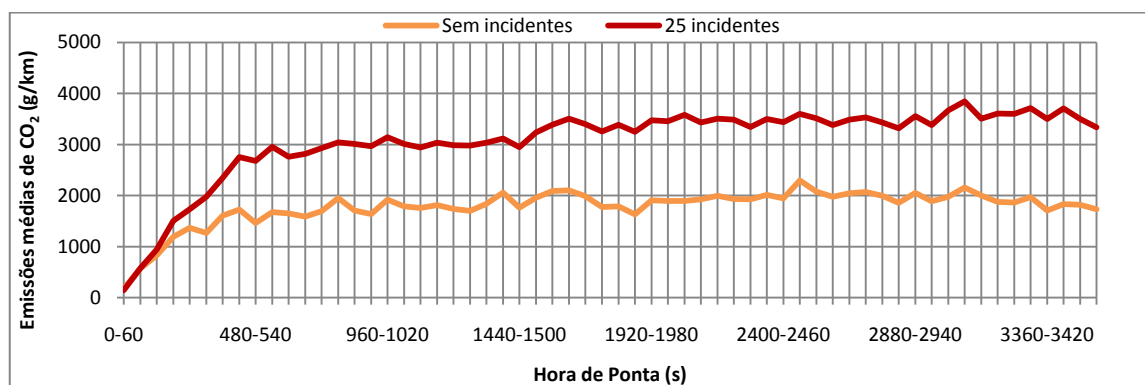


Figura 80 - Emissões médias de CO_2 para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.

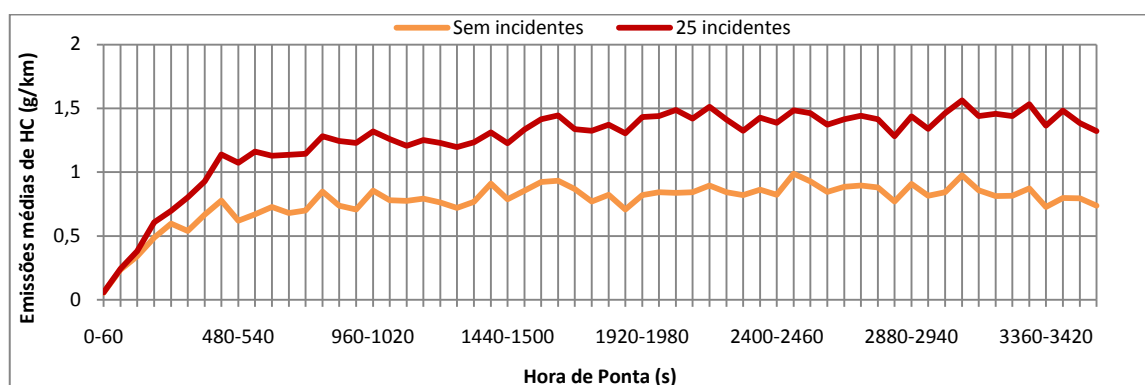


Figura 81 - Emissões médias de HC para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.

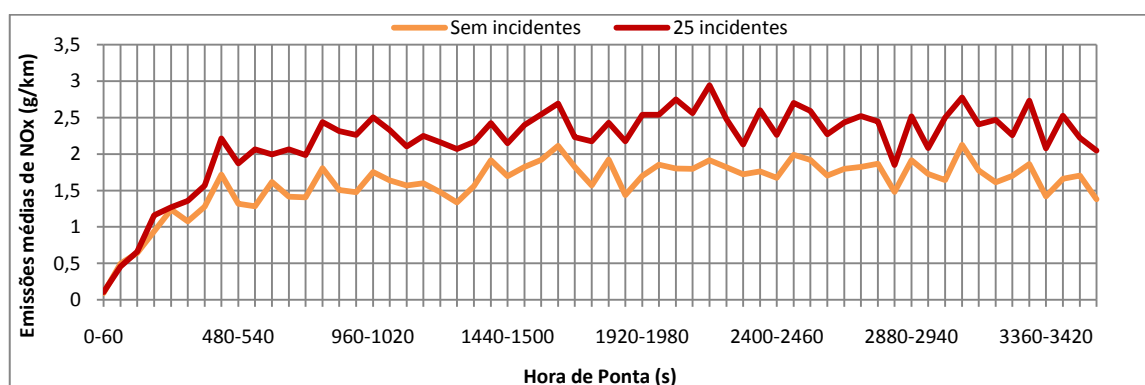


Figura 82 - Emissões médias de NO_x para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.

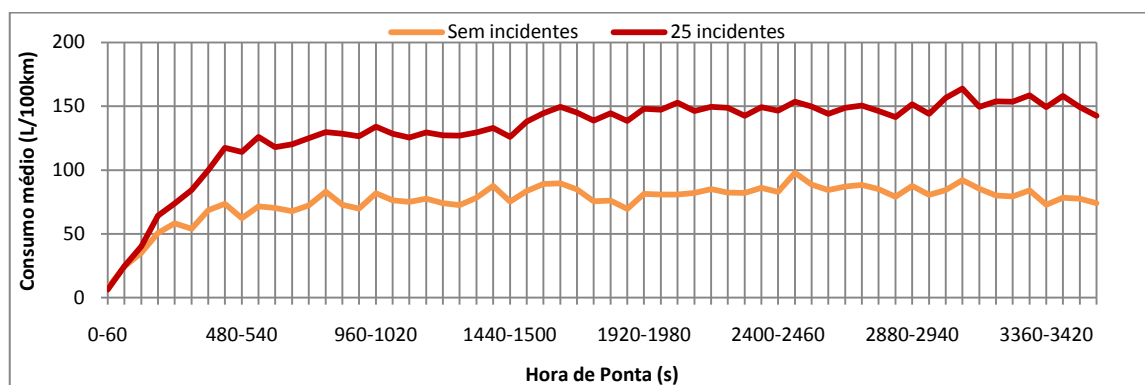


Figura 83 - Consumo de combustível médio para o caso sem incidentes e com vinte e cinco incidentes na hora de ponta.

Em relação a este caso de estudo, os intervalos de tempos que contemplam as emissões e o consumo de combustível máximos são das 18h34 até às 18h37 e das 18h51 até às 18h58. Os incidentes existentes nas vias condicionam e obrigam os condutores a adoptar uma condução mais brusca sempre que se confrontam com um incidente, e levam a que apenas se possa utilizar uma via de circulação. Esta condução brusca, exige do motor maior potência, o que tende a aumentar os níveis de emissões poluentes em comparação com conduções mais suaves.

A existência destes incidentes origina um incremento do caso sem incidentes para o caso máximo de incidentes, na ordem dos 35 a 40% das emissões de CO_2 , de HC e do consumo, e na ordem dos 25 % a 35% das emissões de CO e NO_x . Este incremento deve-se sempre ao aumento do número de incidentes, que provocam estas condições de emissões características de uma situação de congestionamento rodoviário.

Nas tabelas do Anexo H, quer na hora de vazio quer na hora de ponta para estes três cenários anteriores, verifica-se que em alguns intervalos de tempo, a existência de menor número de incidentes é mais prejudicial do que com o número máximo de incidentes (apresentando maiores evidências no caso das emissões poluentes de CO e NO_x). O que justifica tal acontecimento é o facto dos condutores terem que realizar constantemente mudança da via com incidentes para a via sem incidentes (com consequentes alterações do ponto de vista de dinâmica do veículo, com mais acelerações e desacelerações). Assim, no caso de se depararem com um maior número de incidentes (a partir de 9 incidentes em relação à hora de vazio e de 6 incidentes em relação à hora de ponta em cada faixa analisada de forma independente e de 15 incidentes para duas faixas analisadas agregadas), o que ocorre é que os condutores após a passagem do primeiro incidente, encaram com um número de incidentes consecutivos, que fazem com que estes mantenham uma condução constantemente pela via sem incidentes de modo a não efectuarem este movimento de mudança de via em curtos espaços de distância (o que reflecte em menos oscilações de velocidade do que no caso da via ter menos incidentes).

5.4 Cenário 4

Este cenário é encarado como uma alternativa futura à situação actual, e considera uma via única para autocarros em cada faixa de rodagem. Efectuou-se uma comparação das emissões de três casos de estudo (cenário base sem incidentes, via única para autocarro no cenário real e via única para autocarro num cenário futuro).

Neste cenário, apenas será avaliada as emissões e o consumo de combustível, por veículos, em relação aos três casos de estudo supracitados.

5.4.1 Emissões e Consumo por veículo

As Figuras 84 a 88 exibem as emissões e consumo por veículos dos três casos de estudo, tanto para a hora de vazio normal como para a hora de ponta.

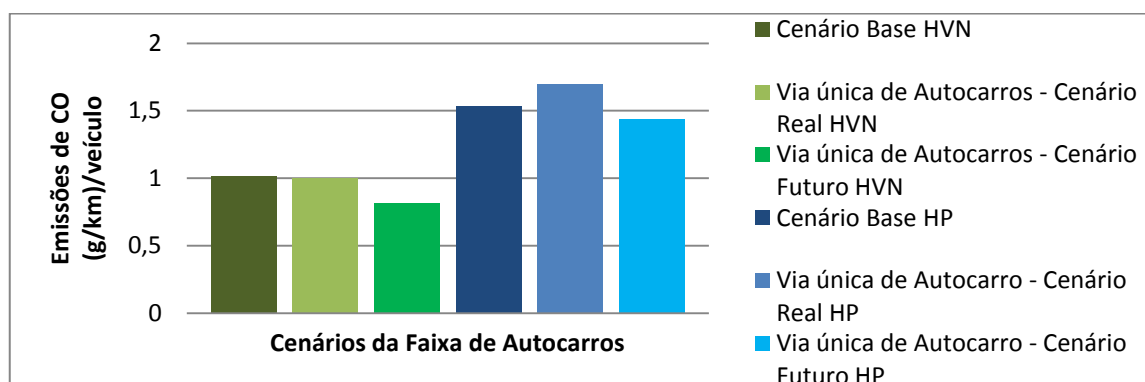


Figura 84 – Emissões de CO por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como de ponta.

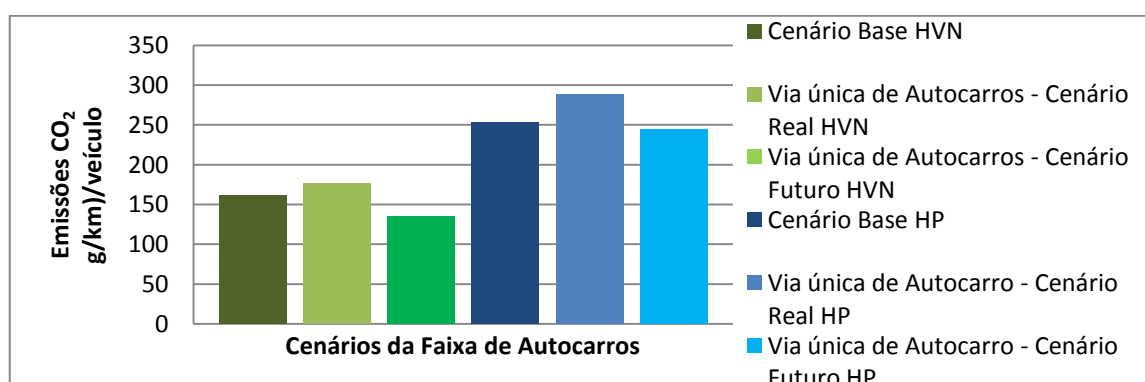


Figura 85 - Emissões de CO₂ por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como de ponta.

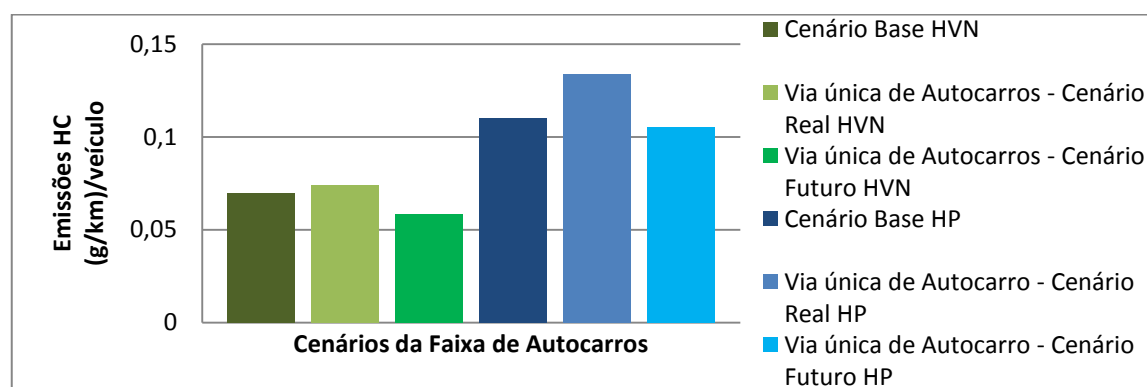


Figura 86 - Emissões de HC por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como de ponta.

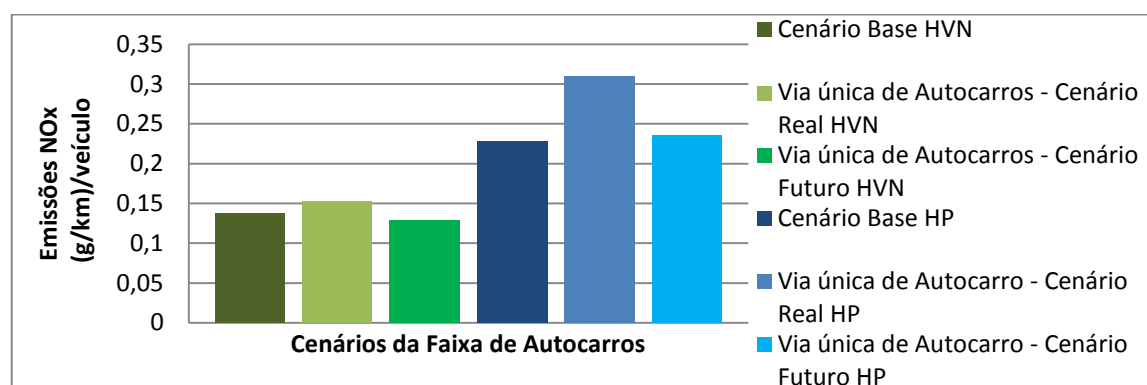


Figura 87 - Emissões de NO_x por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como de ponta.

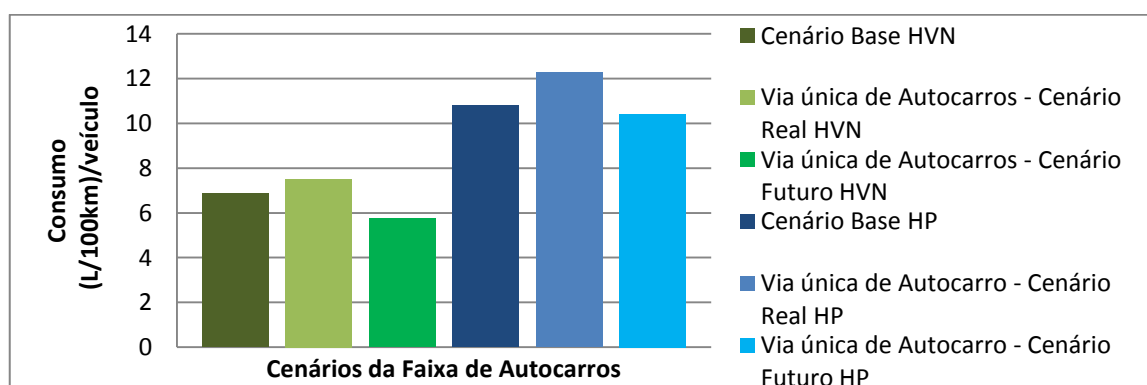


Figura 88 – Consumo de combustível por veículo para três casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como de ponta.

Este cenário será avaliado de duas formas. A primeira é a comparação do cenário base com o caso de estudo de uma via única para autocarros, mantendo-se o tráfego sem alterações em relação ao número de veículos. Essa comparação mostra que, com a criação desta nova

via, os problemas agravam-se a nível de emissões e de consumo quer, para hora de vazio normal quer para hora de ponta. Na hora de vazio normal, existe um aumento, na ordem dos 7 a 10 % das emissões e do consumo, exceptuando as emissões de CO, que variam muito pouco. Na hora designada de ponta, subsiste um aumento, na ordem dos 10 a 12 % das emissões de CO, de CO₂ e do consumo, e de 19 e 26 % nas respectivas emissões de HC e NO_x.

Contundo, com a criação de qualquer via única para circulação de autocarros, tem como objectivo obter uma diminuição do tráfego individual e aumentar o tráfego efectuado por transporte colectivo.

Então no segundo modo de comparação, será comparado o cenário base com o cenário de via única para autocarro no cenário futuro (onde se efectua nesse cenário futuro uma redução do tráfego rodoviário de cerca de 25%, o que não acontece no caso anterior). Na hora de vazio normal, existem reduções na ordem dos 18 a 24% nas emissões e no consumo (exceptuando, no poluente NO_x, onde a diminuição é na ordem dos 6%), e na hora de ponta, obteve-se decréscimos, na ordem dos 4 a 6% nas emissões e no consumo.

Com este caso são alcançados resultados bastante positivos, uma vez que se verifica a diminuição de emissões, demonstrando assim, que a via única para autocarros, é viável. Estes resultados não são espantosos, visto que através de algumas pesquisas efectuadas, verificou-se que os poluentes emitidos pelos autocarros (dados por g/km/passageiro) são muito menores do que para os veículos ligeiros (dados por g/km/passageiro), devido ao facto de os autocarros transportarem mais passageiros do que os automóveis.

5.5 Cenário 5

Neste último cenário, assumiu-se a instalação de Sistemas e Serviços Inteligentes de Transportes (“Intelligent Transportation Systems” - ITS), mais precisamente os Sistemas de Gestão de Incidentes. Neste caso de estudo será analisado unicamente as emissões e consumo por veículo.

5.5.1 Emissões e Consumo por veículo

Neste cenário comparou-se a circulação de tráfego regular com o caso de um acidente obstruir a faixa de rodagem. As Figuras 89 a 93 apresentam as emissões e consumo para os dois casos acima mencionados.

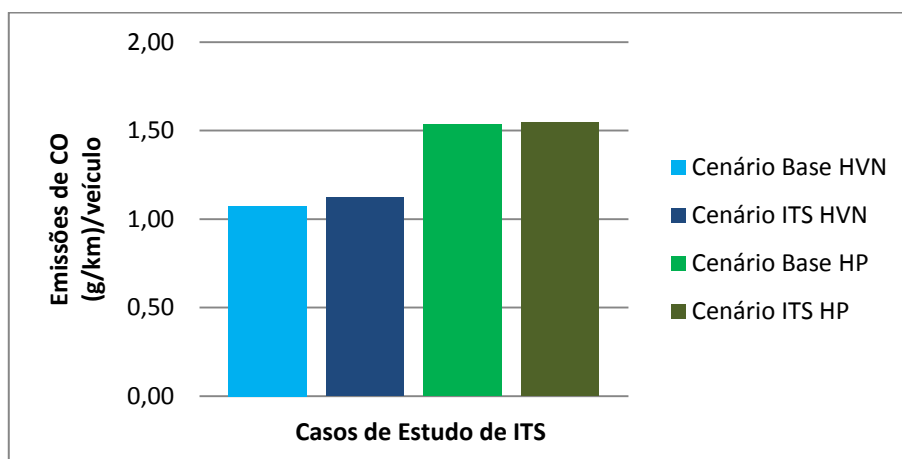


Figura 89 – Emissões de CO por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como em hora de ponta.

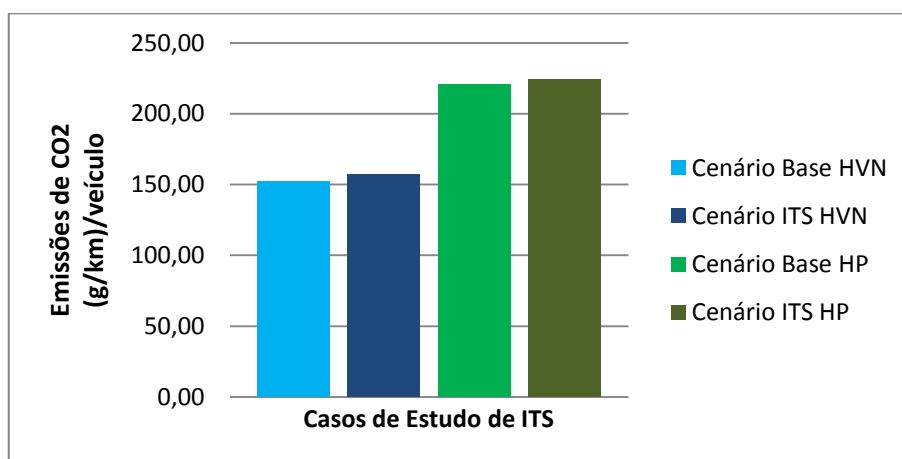


Figura 90 - Emissões de CO₂ por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como em hora de ponta.

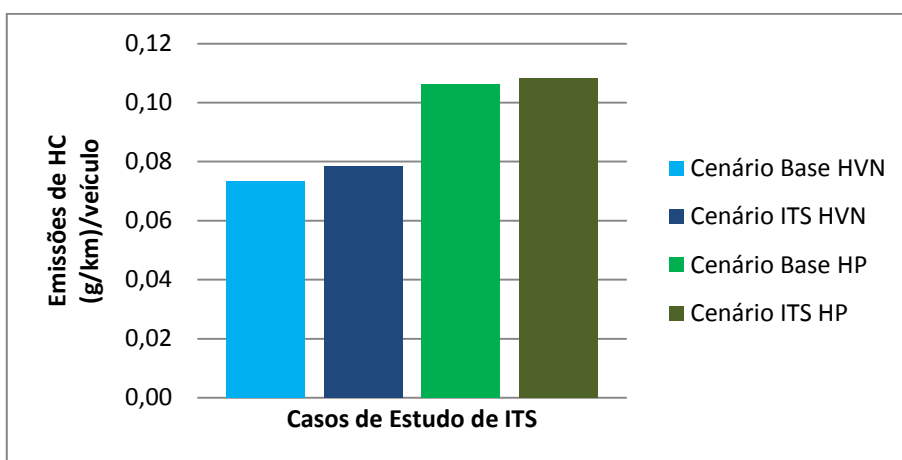


Figura 91 - Emissões de HC por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como em hora de ponta.

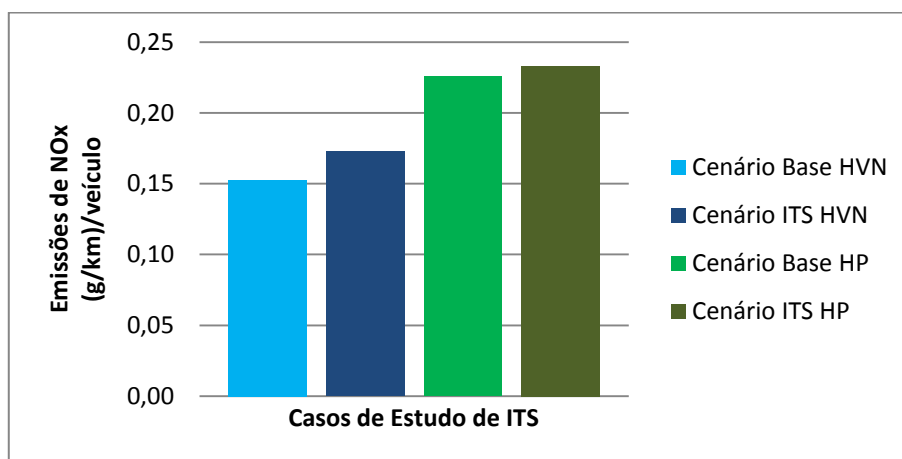


Figura 92 - Emissões de NO_x por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como em hora de ponta.

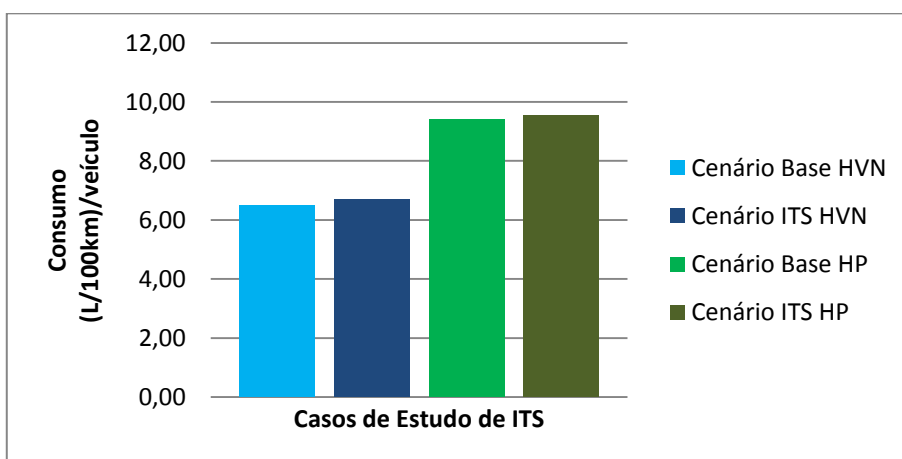


Figura 93 – Consumo de combustível por veículo para dois casos de estudo, tanto em hora de vazio normal como em hora de ponta.

Conclui-se que a instalação do Sistema de Gestão de Incidentes, apresentou um aumento nas emissões poluentes e no consumo de combustível na ordem dos 2 a 4%. Este incremento é justificado pelo desvio/alternativa apresentado pelo sistema de painéis de mensagens variáveis ter uma distância superior em 30% do que o percurso original. Porém, este aumento das emissões e do consumo é tão diminuto comparativamente com uma situação de inexistência deste tipo de sistemas, que se considera estes valores satisfatórios e aprovam a implementação deste tipo de sistemas de gestão de incidentes.

6 Conclusão e trabalho futuro

Nesta Dissertação de Mestrado pretendeu-se realizar uma previsão do desempenho do tráfego, consumos e emissões que resultam da ocorrência de incidentes, nomeadamente, estacionamentos em segunda fila e/ou acidentes, na Avenida Dr. Lourenço Peixinho. Para tal, foram elaborados diversos cenários.

O caso de estudo realizado foi a Avenida Dr. Lourenço Peixinho, devido à sua localização no centro urbano da cidade de Aveiro e possuir uma forte centralidade de actividades económicas. Paralelamente, funciona como elo de ligação a algumas localidades como Esgueira, Barrocas, entre outras, e é o caminho mais utilizado habitualmente para quem se desloca até à Estação Ferroviária ou para quem se desloca da Estação para qualquer local da cidade, como por exemplo, para Universidade.

Criaram-se três cenários que contemplam a ocorrência constante de incidentes na ALP. Observou-se as duas faixas de rodagem presentes, de uma forma individual, distribuindo incidentes ao longo das mesmas. Posteriormente, analisou-se as duas faixas de rodagem no seu conjunto, dispondo incidentes ao longo das duas, de uma forma sequencial. Nestes casos, os incidentes considerados foram sempre estacionamentos em segunda fila, caso típico e diário da ALP.

No sentido ALP – Estação, o quinto incidente foi o que maior embaraço causou ao tráfego, tendo como consequência o aumento nas emissões e no consumo na ordem dos 15%. No sentido oposto, foi o terceiro incidente que causou o mesmo efeito, incrementando as emissões poluentes e o consumo de combustível em cerca de 12 a 15%.

Nos dois sentidos, os incidentes mais prejudiciais foram o primeiro, quinto e sétimo, todos eles incidentes iniciais do sentido ALP – Estação. Os incidentes acima mencionados foram todos detectados como críticos na hora de ponta, não sendo tão nefastos na hora de vazio normal.

Pode-se concluir que em relação a estes três casos de estudo, os aumentos de emissões e de consumo de combustível se devem primordialmente à localização dos incidentes. Os incidentes mais críticos são aqueles que se encontram próximos de vias adjacentes, reguladas por sinais luminosos (sendo estes regulados de uma forma cíclica com a sinalização luminosa da faixa principal). Os mesmos são considerados críticos devido a uma das vias da faixa principal estar condicionada pela existência destes incidentes e ao mesmo tempo a existência de veículos que estão parados nas vias adjacentes à espera que a sua sinalização permita prosseguirem a marcha, os veículos que pretendam entrar nesse ramal acabam por criar uma fila de espera (característica típica de congestionamento), de forma a condicionar/interromper a única via livre para o tráfego.

As causas que levam aos aumentos de emissões e de consumos de combustível prendem-se com o facto de os incidentes sujeitarem os veículos/condutores a vários tipos de atitudes em relação a estes. Uma destas causas prende-se com o facto da presença dos incidentes fazer com que os condutores aguardem atrás destes, o que implica que o motor se encontra ligado e a operar em baixo rendimento, o que faz aumentar a emissão dos respectivos

poluentes (particularmente as emissões de CO). Além disso, esta espera atrás dos incidentes cria índices de ansiedade nos condutores, o que provoca modos de condução mais agressivos, criando acelerações e desacelerações bruscas, para ultrapassagem destes, ajudando isto ao aumento das emissões, principalmente das emissões de CO₂ e HC e do consumo de combustível (pois exige potências mais elevadas ao motor).

Por outro lado, os incidentes obrigam muitas vezes à circulação em marcha lenta, que também é problemático a nível de emissões, devido ao facto do motor operar com uma mistura rica em combustível, ou seja, existe um excesso de combustível para a quantidade de ar aspirado pelo motor e compromete a eficiência da combustão apoiando o aumento das emissões poluentes.

Após os conhecimentos adquiridos sobre as consequências naturais destes incidentes em causa, efectuou-se o estudo de duas alternativas para evitar os mesmos.

A primeira alternativa foi a criação de uma via única para autocarros, por forma a que se eliminasse os estacionamento irregulares e se cativasse mais o uso do transporte colectivo. A criação desta via tem o intuito de combater o ciclo vicioso de congestionamento existente na ALP, que se baseia, no aumento do número de veículos individuais, implicando o aumento de congestionamento, da poluição e da ineficiência, o que leva a que os sectores de transporte colectivo sejam mais lentos e com menor qualidade de serviço, o que provoca uma desconfiança no uso dos mesmos [37]. Portanto, a via única iria aumentar a eficiência/qualidade do transporte colectivo e atenuar a circulação individual. Os resultados obtidos foram positivos, tendo reduções nas emissões na ordem dos 18 a 24% na hora de vazio e de 4 a 6% na hora de ponta. Acredita-se que o decréscimo gradual do transporte individual permita alcançar resultados mais viáveis, contribuindo numa fase futura para o aumento do uso de transporte colectivo em detrimento do uso do transporte individual.

A segunda alternativa para as consequências negativas que os incidentes provocam seria desenvolver uma solução para a resolução dos acidentes no mínimo tempo admissível. Essa solução foi encontrada com o auxílio de um sistema que através de câmaras de vídeo e painéis de mensagens variáveis, permitiriam aos condutores terem acesso a um aviso da ocorrência de um acidente, e em tempo real ser-lhes fornecidas rotas de desvio. Os resultados neste caso também foram positivos, visto que os aumentos das emissões e do consumo são mínimos e são justificados pelo aumento da distância do desvio em cerca de 30% comparativamente ao percurso original.

Devido à limitação de tempo, não foi possível realizar alguns ensaios e ideias que complementaríamos mais este estudo. Algumas das ideias propostas para um possível trabalho futuro são as seguintes:

- Utilização de Matrizes Origem/Destino para configuração preferível das rotas;
- Utilização do modo dinâmico de simulação (Dynamic Assignment) em comparação ao estático utilizado neste estudo;
- Usar um modelo de emissões externo, exportando os dados obtidos no VISSIM para este modelo;

- Calibração do modo de condução, realizar testes com um modo de condução agressivo e comparar com o modo de condução padrão utilizado neste estudo;
- Comparar resultados obtidos com os veículos da classe EURO 3 com veículos de classes EURO superiores.
- Por fim, inserir no VISSIM, factores de emissão de poluentes para veículos que utilizem combustível alternativo, por exemplo, biodiesel, gás natural, electricidade, e comparar com os veículos convencionais.

7 Referências

1. EU (2009) “*A sustainable future for transport*”, Junho 2009, European Commission Mobility & Transport, 32 pp.
2. APA (2009) “*REA 2008 Portugal – Relatório do Estado do Ambiente*”, Outubro 2009, Agência Portuguesa do Ambiente, 189 pp.
3. APA (2008) “*REA 2007 Portugal – Relatório do Estado do Ambiente*”, Outubro 2008, Agência Portuguesa do Ambiente, 432 pp.
4. IMTT (2007) “*Livro Verde – Para uma Nova Cultura de Mobilidade Urbana*”, Setembro 2007, Instituto da Mobilidade dos Transportes Terrestres, 25 pp.
5. Shey, J., Chou, Y. e Chen, A. (2004) “*Stochastic modeling and real-time prediction of incident effects on surface street traffic congestion*”. Applied Mathematica Modeling, Vol.28, pp. 445-468.
6. Cambridge Systematics, Inc e Texas Transportation Institute (2005) “*Traffic Congestion and Reliability – Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation*”. Federal Highway Administration, Final Report, pp 2 – 9.
7. Koorey, G., McMillan, S. e Nicholson, A. (2008) “*The effectiveness of incident management on network reliability*”. Land Transport NZ Research, Report 346, 60 pp.
8. Fries, R., Chowdhury, M. e Ma, Y. (2007) “*Accelerate. Incident Detection and Verification: A Benefit to Cost Analysis of Traffic Cameras*”. Journal of Intelligent Transportation Systems, Vo.11, n. ° 4, pp. 191 – 203.
9. Sheu, J. (2007) “*Microscopic modeling and control logic for incident-responsive automatic vehicle movements in single-automated-lane highway systems*”. European Journal of Operation Research, Vol. 182, n. ° 2, pp. 640 – 662.
10. Mussa, R. N., Matthias, J. S., Upchurch, J. S., Rollier, D. A. e Zaniewski, J. P. (1998) “*Modeling detection of incidents by drivers*”. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 6, n. ° 1-2, pp. 129 – 139.
11. Chatterjee, I., Edara, P., Menneni, S. e Sun, C. (2009) “*Replication of work zone capacity values in a simulation model*”. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. ° 2130, pp. 138 – 148.
12. Prevedouros, P., Halkias, B., Papandreou, K., Politou, A. e Skabardonis, A. (2007) “*Freeway Bottleneck Simulation, Implementation and Evaluation*”. Transportation Research Record, n. ° 2012, pp. 84 – 93.
13. Qin, L. e Smith, B. L. (2001) “*Characterization of Accident Capacity Reduction*”. Final Report for ITS Center project: Incident capacity estimation, U.S. DOT University Transportation Center, pp 33 - 75.

14. Dia, H. e Cottman, N. (2006) “*Evaluation of arterial incident management impacts using traffic simulation*”. Intelligent Transport Systems, IEE proceedings Vol. 153, n. ° 3, pp. 242 – 252.
15. Neto, T. S. (2009) “*Desenvolvimento de um sig de código aberto para simulação microscópica de tráfego urbano*”. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.
16. Figueiredo, L. M. B. (2005) “*Sistemas Inteligentes de Transporte*”. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
17. Moreira, R. B. (2005) “*Uma Contribuição Para Avaliação do Modelo “CORSIM” em Simulações de Tráfego Urbano no Rio de Janeiro*”. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
18. Sousa, D. L. M. e Ribeiro, P. C. M. (2003) “*Análise dos impactos causados no tráfego por alterações na rede viária utilizando micro-simulação*”. 18º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Programa de Engenharia de Transportes, pp. 441 - 452.
19. PB (2000), “*Traffic Incident Management Handbook*”, PB Ferredyne, 108 pp.
20. Kutz, M. (2004) “*Handbook of Transportation Engineering*”, McGraw-Hill Professional, Chapter 18, 24pp.
21. PTV (2010), “*VISSIM – State of Art Multi-modal simulation*”, Planning Transport Verkehr, 8 pp.
22. Vélez, E. G. (2006) “*Adaptation of VISSIM, a dynamic simulation model, to the traffic behavior at intersections in Mayaguez, Puerto Rico*”. University of Puerto Rico, Puerto Rico.
23. Stevanovic, A., Stevanovic, J., Zhang, K. e Batterman, S. (2009) “*Optimizing Traffic Control to Reduce Fuel Consumption and Vehicular Emissions: An Integrated Approach of VISSIM, CMEM, and VISGAOST*”. 88th Transportation Research Board Annual Meeting, Janeiro de 2009, Washington DC.
24. PTV (2008), “*VISSIM 5.10 – User Manual*”, Planning Transport Verkehr, 428 pp.
25. Metropolis, N. (1987) “*The beginning of the Monte Carlo Method*”. Los Alamos Science Special.
26. Amorim, J.H., Lopes, M., Borrego, C., Tavares, R. e Miranda, A.I. (2010) “*Air quality modelling as a tool for sustainable urban traffic management*”. CESAM, Departamento de Ambiente, Universidade de Aveiro, Portugal.
27. Município de Aveiro, “*O Futuro da Avenida Dr. Lourenço Peixinho*”, 152 pp.
28. Câmara Municipal de Aveiro, CMA, <http://www.cm-aveiro.pt>, acessido em 31 de Março de 2010.
29. Bing Maps, <http://www.bing.com/maps>, acessido em Fevereiro de 2010.

30. Soltráfego (2008) “*Contagens Classificadas de Tráfego – Outubro/Novembro 2008*”, Soluções de trânsito, estacionamento e comunicações, SA, 28 pp.
31. Coelho, M. C. (2005) “*Assessment and Modeling of Traffic Performance and Emission Impacts of Traffic Interruptions in Urban Corridors*”, Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Dezembro de 2005.
32. Google Earth, <http://earth.google.com> , acedido em Fevereiro de 2010.
33. Moniz, C. S. M. (2007) “*O Congestionamento de Intersecções e o Uso de Vias Individualizadas Dinâmicas*”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Outubro de 2007.
34. MoveAveiro, <http://www.moveaveiro.pt>, acedido em Abril de 2010.
35. Confinium, <http://www.confinium.net>, acedido em Maio de 2010.
36. Akçelik, R. e Besley, M. (2001) “Acceleration and deceleration models”, 23rd Conference of Australian Institutes of Transport Research, Monash University, Australia, December 2001.
37. Coelho, M. (2010) “Capítulo 3 – Tecnologia veículos rodoviários”, Elementos de estudo da Disciplina “Energia, Mobilidade e Transportes”, Universidade de Aveiro, Outubro de 2010.

8 Anexos

8.1 Anexo A

Neste Anexo são apresentados os quadros das contagens de tráfego (realizadas pela empresa Soltráfego) dos dias em estudo (terça-feira e quinta-feira) dos três locais que serão considerados de entrada de tráfego.

Quadro 2 - Dias em estudo da Rotunda da Ponte de Praça [30].

Dias	Horas	Total	Veículos ligeiros de passageiros	Veículos ligeiros de mercadorias e mistos	Veículos pesados peso bruto inferior ou igual a 7,5t	Veículos pesados peso bruto superior a 7,5t
Terça-feira	00:00-1:00	121	67	35	18	1
	1:00-2:00	52	34	12	5	0
	2:00-3:00	30	19	8	2	1
	3:00-4:00	21	17	3	1	0
	4:00-5:00	19	15	4	0	0
	5:00-6:00	19	12	6	0	0
	6:00-7:00	58	44	12	0	1
	7:00-8:00	173	107	42	10	12
	8:00-9:00	614	255	230	69	51
	9:00-10:00	613	304	174	53	63
	10:00-11:00	536	239	147	68	57
	11:00-12:00	440	298	74	46	15
	12:00-13:00	543	241	171	62	49
	13:00-14:00	560	196	227	61	53
	14:00-15:00	614	216	221	93	66
	15:00-16:00	592	227	169	110	62
	16:00-17:00	562	228	168	99	39
	17:00-18:00	602	196	188	136	64
	18:00-19:00	609	216	190	109	72
	19:00-20:00	545	235	137	99	56
	20:00-21:00	462	216	141	70	29
	21:00-22:00	324	158	89	62	9
	22:00-23:00	250	123	88	34	3
	23:00-00:00	206	89	71	35	5
Quinta-feira	00:00-1:00	147	89	43	10	3
	1:00-2:00	95	51	32	10	1
	2:00-3:00	42	23	13	6	0
	3:00-4:00	28	15	9	2	0
	4:00-5:00	12	9	1	1	0
	5:00-6:00	32	19	10	3	0
	6:00-7:00	58	28	22	6	1
	7:00-8:00	199	86	69	27	14
	8:00-9:00	615	179	195	140	88
	9:00-10:00	619	193	182	144	75
	10:00-11:00	550	214	168	92	57
	11:00-12:00	514	177	178	86	52
	12:00-13:00	519	163	159	101	73
	13:00-14:00	536	179	165	120	50
	14:00-15:00	605	190	198	123	62
	15:00-16:00	545	194	156	90	73
	16:00-17:00	526	182	175	109	49
	17:00-18:00	586	182	170	134	74
	18:00-19:00	631	208	185	139	79
	19:00-20:00	591	223	172	106	69
	20:00-21:00	472	190	151	82	43
	21:00-22:00	373	168	123	63	14
	22:00-23:00	303	157	89	46	10
	23:00-00:00	231	134	60	28	5

Quadro 3 - Dias em estudo da Rotunda de Esgueira [30].

Modelação Numérica de Incidentes de Tráfego Rodoviário

Dias	Horas	Total	Veículos ligeiros de passageiros	Veículos ligeiros de mercadorias e mistos	Veículos pesados peso bruto inferior ou igual a 7,5t	Veículos pesados peso bruto superior a 7,5t
Terça-feira	00:00-1:00	60	49	10	1	0
	1:00-2:00	28	24	3	0	0
	2:00-3:00	12	11	1	0	0
	3:00-4:00	4	4	0	0	0
	4:00-5:00	10	8	1	1	0
	5:00-6:00	24	17	5	0	0
	6:00-7:00	46	25	14	4	1
	7:00-8:00	194	141	33	6	6
	8:00-9:00	603	466	77	21	15
	9:00-10:00	664	570	38	11	3
	10:00-11:00	437	344	59	13	5
	11:00-12:00	445	375	42	7	7
	12:00-13:00	499	389	86	8	12
	13:00-14:00	529	391	100	19	14
	14:00-15:00	625	451	109	24	17
	15:00-16:00	528	380	109	17	7
	16:00-17:00	519	383	106	10	6
	17:00-18:00	599	410	137	15	13
	18:00-19:00	714	516	129	18	18
	19:00-20:00	565	405	86	13	15
	20:00-21:00	366	288	62	4	5
	21:00-22:00	290	234	52	1	2
	22:00-23:00	243	184	51	4	0
	23:00-00:00	198	98	56	38	4
Quinta-feira	00:00-1:00	84	66	5	10	0
	1:00-2:00	38	32	3	3	0
	2:00-3:00	18	10	8	0	0
	3:00-4:00	9	7	2	0	0
	4:00-5:00	11	10	0	1	0
	5:00-6:00	18	13	4	0	0
	6:00-7:00	50	32	13	3	1
	7:00-8:00	184	132	31	2	6
	8:00-9:00	667	471	142	17	21
	9:00-10:00	702	504	135	23	17
	10:00-11:00	464	335	93	9	8
	11:00-12:00	397	291	84	11	5
	12:00-13:00	531	360	132	12	9
	13:00-14:00	588	446	92	12	15
	14:00-15:00	586	485	46	12	13
	15:00-16:00	512	428	53	15	3
	16:00-17:00	506	373	86	28	9
	17:00-18:00	587	413	94	23	9
	18:00-19:00	713	447	169	21	15
	19:00-20:00	571	456	84	7	12
	20:00-21:00	420	333	57	7	11
	21:00-22:00	278	234	40	2	1
	22:00-23:00	266	231	28	3	2
	23:00-00:00	203	167	29	3	0

Modelação Numérica de Incidentes de Tráfego Rodoviário

Quadro 4 – Dias em estudo da Rotunda do Oita [30].

Dias	Horas	Total	Veículos ligeiros de passageiros	Veículos ligeiros de mercadorias e mistos	Veículos pesados peso bruto inferior ou igual a 7,5t	Veículos pesados peso bruto superior a 7,5t
Terça-feira	00:00-1:00	130	114	13	3	0
	1:00-2:00	63	56	5	1	1
	2:00-3:00	31	27	3	1	0
	3:00-4:00	12	9	2	1	0
	4:00-5:00	12	7	4	0	0
	5:00-6:00	8	6	2	0	0
	6:00-7:00	8	7	1	0	0
	7:00-8:00	27	16	5	6	0
	8:00-9:00	125	93	26	4	2
	9:00-10:00	513	345	123	27	15
	10:00-11:00	626	431	135	51	9
	11:00-12:00	490	343	99	31	13
	12:00-13:00	433	323	78	23	9
	13:00-14:00	631	487	89	36	18
	14:00-15:00	555	455	58	32	7
	15:00-16:00	598	474	71	34	17
	16:00-17:00	568	420	97	39	10
	17:00-18:00	558	406	93	41	17
	18:00-19:00	664	504	107	34	16
	19:00-20:00	704	514	123	46	20
	20:00-21:00	523	393	98	21	9
	21:00-22:00	303	217	64	14	6
	22:00-23:00	188	137	44	5	1
	23:00-00:00	146	114	27	4	1
Quinta-feira	00:00-1:00	61	51	9	0	1
	1:00-2:00	57	51	5	0	1
	2:00-3:00	22	19	3	0	0
	3:00-4:00	15	13	2	0	0
	4:00-5:00	8	6	2	0	0
	5:00-6:00	24	19	4	1	0
	6:00-7:00	23	17	5	1	0
	7:00-8:00	110	73	30	4	2
	8:00-9:00	427	289	100	32	5
	9:00-10:00	550	419	84	34	9
	10:00-11:00	416	343	45	21	6
	11:00-12:00	439	385	28	16	3
	12:00-13:00	281	225	14	5	1
	13:00-14:00	0	0	0	0	0
	14:00-15:00	0	0	0	0	0
	15:00-16:00	0	0	0	0	0
	16:00-17:00	332	281	31	17	1
	17:00-18:00	668	520	100	36	8
	18:00-19:00	750	557	110	57	26
	19:00-20:00	608	456	98	29	22
	20:00-21:00	339	257	68	11	3
	21:00-22:00	235	176	53	4	2
	22:00-23:00	209	161	39	6	1
	23:00-00:00	167	130	29	8	0

8.2 Anexo B

Neste Anexo é apresentado o quadro da contagem de tempo de cada fase de cada semáforo disperso pela avenida.

Quadro 5 – Quadro da contagem de tempo de abertura de cada fase de cada semáforo existente na ALP.

Semáforos	Tempo Abertura de cada sinal				
	1	2	3	4	5
(Nº de ensaios)					
1- ALP - Estação (Capitania)					
Verde (s)	48	48	48	48	48
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	34	35	37	37	35
2- ALP (Deutschland bank) virando para R.Agostinho Pinheiro					
Verde (s)	21	21	21	21	21
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	65	65	65	65	65
3-ALP - Estação (Loja Oxigénio)					
Verde (s)	42	39	45	39	47
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	42	40	36	40	37
4- ALP - Estação (Loja Oxigenio) virando para R.Dr.Alb. Souto					
Verde (s)	25	29	15	29	28
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	63	62	89	93	93
5- ALP-Estação (C.C.Oita)					
Verde (s)	29	29	29	29	29
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	54	67	74	74	91
6- Estação - ALP (Seguradora Global)					
Verde (s)	37	66	50	71	41
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	36	52	52	52	53
7- Estação - ALP (Seguradora Global) virando para Rot. do Oita					
Verde (s)	18	42	28	49	20
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	60	74	73	74	74
8- R. Engenheiro Oudinot					
Verde (s)	30	30	30	30	30
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	89	72	74	66	93
9- Estação - ALP (Centro de Yoga)					
Verde (s)	47	36	69	49	40
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	54	54	55	54	54
10- Estação - ALP (Centro de Yoga) virando para R. Eng.S.P.Silva					
Verde (s)	30	20	28	25	29
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	70	59	94	73	62
11- Estação - ALP (Loja Marco Soares)					
Verde (s)	55	55	55	55	55
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	30	30	30	30	30
12- R.Conselheiro Luís Magalhães virando ALP					
Verde (s)	19	22	23	22	23
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	66	62	62	62	62
13- Estação - ALP (Banco BES)					
Verde (s)	48	48	48	48	48
Amarelo (s)	3	3	3	3	3
Vermelho (s)	37	39	37	37	35

8.3 Anexo C

Neste Anexo é apresentado o quadro dos valores médios de temporização utilizados nos sinais luminosos instalados na ALP.

Quadro 6 – Valores médios de temporização dos sinais luminosos (criaram-se nomes para os sinais luminosos para auxílio da sua localização).

Sinais Luminosos	
1- Avenida. LP – Estação CP (Capitania)	
	Verde = 48 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 36 s
2- ALP virando para R.Agostinho Pinheiro	
	Verde = 21 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 65 s
3-ALP – Estação CP (Loja Oxigénio)	
	Verde = 42 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 39 s
4- ALP – Estação CP (Loja Oxigénio) virando para R.Dr.Alberto Souto	
	Verde = 25 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 80 s
5- ALP - Estação CP (C.C.Oita)	
	Verde = 29 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 72 s
6- Estação CP – ALP (Seguradora Global)	
	Verde = 53 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 49 s
7- Estação CP – ALP (Seguradora Global) virando para Rotunda do Oita	
	Verde = 31 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 71 s
8- R. Engenheiro Oudinot	
	Verde = 30 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 79 s
9- Estação CP – ALP (Centro de Yoga)	
	Verde = 48 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 54 s
10- Estação CP – ALP (Centro de Yoga) virando para R.Eng.Silvério.P.Silva	
	Verde = 26 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 72 s
11- Estação CP – ALP (Loja Marco Soares)	
	Verde = 55 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 30 s
12- R.Conselheiro Luís Magalhães virando para ALP	
	Verde = 22 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 63 s
13- Estação CP – ALP (Banco BES)	
	Verde = 48 s
	Amarelo = 3 s
	Vermelho = 37 s

8.4 Anexo D

Neste Anexo são apresentados os quadros dos autocarros que percorrem a ALP, no sentido ALP – Estação CP e no sentido Estação CP - ALP, na hora de vazio normal e na hora de ponta.

Quadro 7 - O número de autocarros que percorrem ALP, no sentido ALP – Estação CP, com respectiva taxa de ocupação e contagem de entrada/saída de passageiros em cada paragem ao longo da mesma na hora de vazio normal.

Hora de vazio normal				
Sentido ALP – Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	7 (11:15)	22	2	3
Paragem Oita			5	4
Paragem Espingardaria			1	3
Paragem Estação			0	4
Sentido ALP – Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	1 (11:17)	17	4	4
Paragem Oita			3	3
Paragem Espingardaria			0	2
Paragem Estação			0	6
Sentido ALP – Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	2 (11:25)	12	3	2
Paragem Oita			0	3
Paragem Espingardaria			1	1
Paragem Estação			1	3
Sentido ALP – Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	2 (11:25)	10	2	2
Paragem Oita			1	2
Paragem Espingardaria			0	0
Paragem Estação			1	1
Sentido ALP – Estação CP	Total de Entrada de utentes		Total de Saída de utentes	
Paragem Capitania	11		11	
Paragem Oita	9		12	
Paragem Espingardaria	2		6	
Paragem Estação	2		14	

Modelação Numérica de Incidentes de Tráfego Rodoviário

Quadro 8 - O número de autocarros que percorrem ALP, no sentido Estação CP – ALP, com respectiva taxa de ocupação e contagem de entrada/saída de passageiros em cada paragem ao longo da mesma na hora de vazio normal.

Hora de vazio normal				
Sentido Estação CP - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	2 (11:08)	8	0	0
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			1	1
Paragem Pontes			3	2
Paragem Loja Revistas			0	1
Sentido Estação CP - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	1 (11:18)	15	1	0
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			2	1
Paragem Pontes			3	4
Paragem Loja Revistas			1	3
Sentido Estação CP - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	6 (11:20)	6	0	0
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			1	0
Paragem Pontes			3	2
Paragem Loja Revistas			0	0
Sentido Estação CP - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	5 (11:28)	10	0	1
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			1	3
Paragem Pontes			1	4
Paragem Loja Revistas			3	2
Sentido Estação CP - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	2 (11:38)	9	0	1
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			2	2
Paragem Pontes			3	4
Paragem Loja Revistas			2	0
Sentido Estação CP - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	7 (11:53)	1	0	1
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			1	2
Paragem Pontes			1	4
Paragem Loja Revistas			5	2
Sentido Estação CP - ALP	Total de Entrada		Total de Saída	
Paragem Hotel Mercure	1		3	
Paragem Correios	0		0	
Paragem Casa Benfica	8		9	
Paragem Pontes	14		20	
Paragem Loja Revistas	11		8	

Modelação Numérica de Incidentes de Tráfego Rodoviário

Quadro 9 – O número de autocarros que percorrem ALP, no sentido ALP – Estação CP, com respectiva taxa de ocupação e contagem de entrada/saída de passageiros em cada paragem ao longo da mesma na hora de ponta.

Hora de Ponta				
Sentido ALP – Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	2 (18:08)	9	2	0
Paragem Oita			6	1
Paragem Espingardaria			0	0
Paragem Estação			2	0
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	1 (18:10)	6	16	0
Paragem Oita			6	0
Paragem Espingardaria			6	1
Paragem Estação			1	0
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	5 (18:20)	5	5	0
Paragem Oita			3	0
Paragem Espingardaria			1	0
Paragem Estação			0	0
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	3 (18:30)	16	7	0
Paragem Oita			5	2
Paragem Espingardaria			0	0
Paragem Estação			3	1
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	4 (18:30)	32	10	2
Paragem Oita			9	4
Paragem Espingardaria			1	0
Paragem Estação			0	2
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	5 (18:30)	20	7	1
Paragem Oita			12	4
Paragem Espingardaria			0	0
Paragem Estação			2	1
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	7 (18:30)	30	9	2
Paragem Oita			9	1
Paragem Espingardaria			0	0
Paragem Estação			3	2
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	1 (18:32)	17	15	3
Paragem Oita			7	1
Paragem Espingardaria			1	0
Paragem Estação			0	0
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	8 (18:33)	19	5	4
Paragem Oita			3	2
Paragem Espingardaria			0	0
Paragem Estação			3	0
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	2 (18:38)	40	10	3
Paragem Oita			13	3
Paragem Espingardaria			0	2
Paragem Estação			5	1
Sentido ALP - Estação CP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Capitania	1 (18:57)	4	3	0
Paragem Oita			7	0
Paragem Espingardaria			0	1
Paragem Estação			2	1
Sentido ALP - Estação CP	Total de Entrada de utentes		Total de Saída de utentes	
Paragem Capitania	89		15	
Paragem Oita	80		18	
Paragem Espingardaria	9		4	
Paragem Estação	21		8	

Modelação Numérica de Incidentes de Tráfego Rodoviário

Quadro 10 - O número de autocarros que percorrem ALP, no sentido Estação CP – ALP, com respectiva taxa de ocupação e contagem de entrada/saída de passageiros em cada paragem ao longo da mesma na hora de ponta.

Hora de Ponta				
Sentido Estação - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	2 (18:08)	10	0	2
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			6	1
Paragem Pontes			10	3
Paragem Loja Revistas			7	0
Sentido Estação - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	7 (18:23)	12	1	0
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			7	1
Paragem Pontes			11	4
Paragem Loja Revistas			4	1
Sentido Estação - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	1 (18:28)	13	0	0
Paragem Correios			0	1
Paragem Casa Benfica			4	1
Paragem Pontes			10	3
Paragem Loja Revistas			7	2
Sentido Estação - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	4 (18:30)	6	0	0
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			2	0
Paragem Pontes			5	1
Paragem Loja Revistas			3	0
Sentido Estação - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	2 (18:33)	19	2	0
Paragem Correios			1	0
Paragem Casa Benfica			9	1
Paragem Pontes			14	4
Paragem Loja Revistas			7	0
Sentido Estação - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	5 (18:35)	21	0	0
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			5	2
Paragem Pontes			17	2
Paragem Loja Revistas			9	0
Sentido Estação - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	1 (18:41)	8	0	0
Paragem Correios			1	0
Paragem Casa Benfica			11	1
Paragem Pontes			17	3
Paragem Loja Revistas			5	0
Sentido Estação - ALP	Linha (horário)	Ocupação	Entrada	Saída
Paragem Hotel Mercure	6 (18:50)	3	0	0
Paragem Correios			0	0
Paragem Casa Benfica			3	0
Paragem Pontes			8	1
Paragem Loja Revistas			2	0
Sentido Estação - ALP	Total de Entrada de utentes		Total de Saída de utentes	
Paragem Hotel Mercure	3		2	
Paragem Correios	2		1	
Paragem Casa Benfica	47		7	
Paragem Pontes	92		21	
Paragem Loja Revistas	44		3	

8.5 Anexo E

Neste Anexo é exibido o quadro (em percentagem) da escolha de rotas dos veículos quando encontram com um cruzamento, na hora de vazio normal e na hora de ponta.

Quadro 11 – Escolha de rotas (em percentagem) dos veículos, em hora de vazio normal e em hora de ponta.

Rotas Principais	Rotas Secundárias	Nome das Múltiplas Rotas	HVN (%)	HP (%)
1	1	Estação - Rua de Viseu	71,40	65,40
	2	Estação - R.Almirante Cândido dos Reis	11,90	23,10
	3	Estação - R.Luis Gomes de Carvalho	16,70	11,50
2	1	Rua de Viseu - R.Luis Gomes de Carvalho	88,40	87,00
	2	Rua de Viseu - R.Almirante Cândido dos Reis	11,60	13,00
3	1	R.Comandante Rocha e Cunha - (ALP-Estação)	28,90	23,50
	2	R.Comandante Rocha e Cunha - Retaguarda Estação	61,40	70,60
	3	R.Comandante Rocha e Cunha - R.Senhor dos Aflitos	9,70	5,90
4	1	Retaguarda Estação - R.Almirante Cândido dos Reis	67,10	69,00
	2	Retaguarda Estação - (Estação-ALP)	27,40	29,20
	3	Retaguarda Estação - Estacionamento Estação	5,50	1,80
5	1	(ALP-Estação) - Túnel	40,20	38,00
	2	(ALP-Estação) - (Estação-ALP)	59,80	62,00
6	1	(ALP-Estação) - Largo da Estação	58,40	56,40
	2	(ALP-Estação) - Retaguarda Estação	41,60	43,60
7	1	R.Almirante Candido dos Reis - R.Sá	45,80	49,30
	2	R.Almirante Candido dos Reis - R.Carmo	54,20	50,70
8	1	(Estação-ALP) - R.Eng.Von Hafe	21,90	20,70
	2	(Estação-ALP) - ALP	78,10	79,30
9	1	R.Eng.Von Hafe - R.Sá	61,50	65,20
	2	R.Eng.Von Hafe - R.Carmo	38,50	34,80
10	1	(ALP-Estação) - R.Eng.Oudinot(Rot.Oita)	33,80	35,60
	2	(ALP-Estação) - ALP	66,20	64,40
11	1	(Estação-ALP) - R.Eng.Oudinot(Rot.Oita)	37,60	42,80
	2	(Estação-ALP) - Estação (inversão de marcha)	5,60	5,50
	3	Estação-ALP	56,80	51,70
12	1	R.Eng.Oudinot - (Estação-ALP)	22,40	24,10
	2	R.Eng.Oudinot - (ALP-Estação)	28,60	19,70
	3	R.Eng.Oudinot - R.Eng.Oudinot(Rot.Oita)	49,00	56,20
13	1	(Estação-ALP) - R.Dr.Alberto Souto	16,48	21,72
	2	(Estação-ALP) - R.Guilherme G. Fernandes	10,99	10,41
	3	(Estação-ALP) - R.Eng. Silvério P. Siva	4,40	5,43
	4	(Estação-ALP) - ALP	67,03	60,63
	5	(Estação-ALP) - Estação (inversão de marcha)	1,10	1,81
14	1	(ALP-Estação) - R.Dr.Alberto Souto	20,33	18,89
	2	(ALP-Estação) - R.Guilherme G. Fernandes	8,13	10,20
	3	(ALP-Estação) - R.Eng.Silvério P. Silva	11,38	8,16
	4	(ALP-Estação) - Estação	46,34	55,61
	5	(ALP-Estação) - ALP (inversão de marcha)	13,82	7,14
15	1	R.Dr.Alberto Souto - R.Dr.Alberto Souto	74,51	78,85
	2	R.Dr.Alberto Souto - R.Dr.Alberto S. Machado	25,49	21,15
16	1	R.Dr.Alberto Souto - R.Carmo	20,50	51,40
	2	R.Dr.Alberto Souto - R.Eng. Oudinot	79,50	48,60
17	1	R.Eng. Oudinot(Rot.Oita) - Travessa Dispensário	0,80	2,10
	2	R.Eng. Oudinot(Rot.Oita) - Av.5 de Outubro	47,60	44,30
	3	R.Eng. Oudinot(Rot.Oita) - Av.Congressos O. Democrática	39,10	43,00
	4	R.Eng. Oudinot(Rot.Oita) - R.Comandante R. Cunha	12,50	10,60

Rotas Principais	Rotas Secundárias	Nome das Múltiplas Rotas	HVN (%)	HP (%)
18	1	Av.Cong. O. Democrática - R.Comandante R. Cunha	33,00	39,50
	2	Av.Cong. O. Democrática - Travessa Dispensário	7,20	5,90
	3	Av.Cong. O. Democrática - Av.5 de Outubro	49,10	36,60
	4	Av.Cong. O. Democrática - Av.Cong. O. Democrática	10,70	18,00
19	1	Av.Central - Av.Granja	78,00	67,70
	2	Av.Central - R.São Bartolomeu	22,00	32,30
20	1	Av.Granja - Av.Central	94,40	94,80
	2	Av.Granja - R.São Bartolomeu	5,60	5,20
21	1	Av.Granja - Av.Cong. O. Democrática	92,00	90,00
	2	Av.Granja - R.Senhor dos Aflitos	8,00	10,00
22	1	(Estação-ALP) - ALP	81,20	86,30
	2	(Estação-ALP) - R.Agostinho Pinheiro	18,80	13,70
23	1	ALP-Estação	64,50	63,70
	2	(ALP-Estação) - R.Agostinho Pinheiro	28,00	29,30
	3	(ALP-Estação) - ALP (inversão de marcha)	7,50	7,00
24	1	R.Conselheiro L.Magalhães - (ALP-Estação)	31,70	25,90
	2	R.Conselheiro L.Magalhães -(Estação-ALP)	68,30	74,10
25	1	(Estação-ALP) - R.Viana do Castelo	12,40	13,80
	2	(Estação-ALP) - R.Clube dos Galitos	52,80	62,30
	3	(Estação-ALP) - R.Batalhão dos Caçadores	25,80	19,50
	4	(Estação-ALP) - (ALP-Estação)	9,00	4,40
26	1	Av.Cong. O. Democrática - Av.Central	89,00	89,50
	2	Av.Cong. O. Democrática - R.Senhor dos Aflitos	11,00	10,50
27	1	R.Agostinho Oliveira - R.Fermão Oliveira	45,00	35,29
	2	R.Agostinho Oliveira - R.Conselheiro Luis Magalhaes	55,00	64,71
28	1	R.Guilherme G. Fernandes - R.Fermão Oliveira	18,75	28,37
	2	R.Guilherme G. Fernandes - R.Conselheiro Luis Magalhaes	81,25	71,63

8.6 Anexo F

Neste Anexo é apresentado o quadro da velocidade e da desaceleração dos veículos, quando avistam um cruzamento ou uma rotunda.

Quadro 12 – Velocidades e desacelerações dos locais em estudo (cruzamentos ou rotundas).

Locais de Redução de Velocidade (Cruzamentos/Intersecções/Rotundas)	Velocidade (km/h)	Desaceleração (m/s ²)
Estação - Rua de Viseu	13,4	-1,14
Estação - R.Almirante Cândido dos Reis	5,8	-0,28
Estação - R.Luis Gomes de Carvalho	5,8	-0,28
Rua de Viseu - R.Almirante Cândido dos Reis	13,2	-1,14
Largo da Estação - ALP	10,2	-1,13
R.Luis Gomes de Carvalho - ALP	17,0	-2,47
(Estação-ALP) - R.Eng.Von Hafe	7,2	-1,13
R.Eng.Von Hafe - R.Sá	13,5	-1,14
R.Eng.Von Hafe - R.Carmo	13,5	-1,14
R.Almirante Candido dos Reis - R.Sá	7,1	-1,13
R.Almirante Candido dos Reis - R.Carmo	7,1	-1,13
R.Carmo - R.Eng.Oudinot	15,4	-1,14
(Estação-ALP) - R.Eng.Oudinot(Rot.Oita)	14,1	-1,14
(Estação-ALP) - Estação (inversão de marcha)	11,1	-1,13
(Estação-ALP) - R.Dr.Alberto Souto	17,8	-2,47
(Estação-ALP) - R.Guilherme G. Fernandes	7,9	-1,13
(Estação-ALP) - R.Eng. Silvério P. Siva	17,8	-2,47
(Estação-ALP) - Estação (inversão de marcha)	14,1	-1,14
R.Dr.Alberto S. Machado - R.Guilherme G. Fernandes	8,4	-1,13
R.Dr.Alberto Souto - R.Dr.Alberto Souto	15,0	-1,14
R.Dr.Alberto Souto - R.Carmo	4,3	-0,28
R.Dr.Alberto Souto - R.Eng. Oudinot	8,4	-1,13
R.Eng.Oudinot - (Estação-ALP)	10,9	-1,13
R.Eng.Oudinot - (ALP-Estação)	12,4	-1,14
(Estação-ALP) - R.Agostinho Pinheiro	21,6	-3,16
R.Agostinho Oliveira - R.Conselheiro Luis Magalhaes	10,6	-1,13
R.Conselheiro Luis Magalhaes - R.Fernão Oliveira	13,5	-1,14
R.Guilherme G. Fernandes - R.Conselheiro Luis Magalhaes	16,8	-2,47
R.Conselheiro L.Magalhães - (ALP-Estação)	17,4	-2,47
R.Conselheiro L.Magalhães -(Estação-ALP)	20,9	-3,16
(Estação-ALP) - Rotunda Ponte Praça	13,5	-1,14
Rotunda Ponte Praça - R.Viana do Castelo	15,9	-2,47
Rotunda Ponte Praça - R.Clube dos Galitos	14,0	-1,14
Rotunda Ponte Praça - R.Batalhão dos Caçadores	13,6	-1,14
Rotunda Ponte Praça - (ALP-Estação)	21,3	-3,16
(ALP-Estação) - R.Agostinho Pinheiro	15,7	-2,47
(ALP-Estação) - ALP (inversão de marcha)	11,2	-1,13
(ALP-Estação) - R.Eng.Silvério P. Silva	13,6	-1,14
(ALP-Estação) - R.Dr.Alberto Souto	12,3	-1,14
(ALP-Estação) - ALP (inversão de marcha)	10,3	-1,13
R.Eng.Silvério P. Silva - Largo Mercado	15,2	-2,47
Praça do Mercado	14,2	-1,14
Praça do Mercado - Travessa do Mercado	8,8	-1,13
Travessa do Mercado - (ALP-Estação)	8,3	-1,13
(ALP-Estação) - R.Eng.Oudinot(Rot.Oita)	10,6	-1,13
R.Eng.Oudinot(Rot.Oita) - Rotunda Oita	12,9	-1,14
Rotunda Oita - Travessa Dispensário	11,0	-1,13

Locais de Redução de Velocidade (Cruzamentos/Intersecções/Rotundas)	Velocidade (km/h)	Desaceleração (m/s²)
Rotunda Oita - Av.5 de Outubro	16,7	-2,47
Rotunda Oita - Av.Congressos O. Democrática	28,3	-3,85
Rotunda Oita - R.Comandante R. Cunha	24,1	-3,16
R.Comandante Rocha e Cunha - (R.Senhor dos Aflitos - ALP)	16,1	-2,47
R.Comandante Rocha e Cunha - (ALP - Estação)	8,1	-1,13
R.Comandante Rocha e Cunha - R.Senhor dos Aflitos	13,5	-1,14
(ALP-Estação) - Retaguarda Estação	13,6	-1,14
R.Comandante Rocha e Cunha - Retaguarda Estação	17,8	-2,47
Retaguarda Estação - Estação	15,4	-2,47
Retaguarda Estação - Largo da Estação	7,0	-1,13
Retaguarda Estação - Estacionamento Estação	9,3	-1,13
Largo da Estação - R.Almirante Cândido dos Reis	25,4	-3,85
Largo da Estação - (Estação-ALP)	12,6	-1,14
Largo da Estação (inversao de marcha)	21,1	-3,16
Av.Cong. O. Democrática - Rotunda Oita	15,4	-2,47
Av.Cong. O. Democrática - Rotunda Central	25,6	-3,85
Rotunda Central - Av.Central	29,5	-3,85
Av.Central - Rotunda Granja	25,6	-3,85
Rotunda Granja - Av.Granja	27,3	-3,85
(Rotunda Granja-Av.Granja) - R.São Bartolomeu	16,8	-2,47
(Av.Granja-Rotunda Granja) - R.São Bartolomeu	25,9	-3,85
Av.Granja - Rotunda Granja	22,5	-3,16
Rotunda Granja - Av.Central	30,0	-3,85
Av.Central - Rotunda Central	16,9	-2,47
Rotunda Central - R.Senhor dos Aflitos	17,0	-2,47
Rotunda Central - Av.Cong. O. Democrática	25,4	-3,85

8.7 Anexo G

Neste Anexo é exibido em percentagem a entrada de cada tipo de veículo na rede de tráfego em hora de vazio e em hora de ponta.

Quadro 13 – Percentagem de cada tipo de veículos que são inseridos na rede de tráfego através das três entradas acima consideradas em hora de vazio normal

Entrada de Tráfego / Tipos de veículo (%)	Car	Van	HGV
Rotunda Ponte Praça: Sentido ALP - Estação	89,7	6,5	3,7
Rotunda Esgueira: Sentido Esgueira -ALP	40,1	40,4	19,5
Avenida da Granja: Sentido Av.Granja - Av. Central	75,4	21,8	2,8

Quadro 14 – Percentagem de cada tipo de veículos que são inseridos na rede de tráfego através das três entradas acima consideradas em hora de ponta.

Entrada de Tráfego / Cada tipo de veículo (%)	Car	Van	HGV
Rotunda Ponte Praça: Sentido ALP - Estação	39,1	34,8	26,1
Rotunda Esgueira: Sentido Esgueira -ALP	77,8	19,5	2,7
Avenida da Granja: Sentido Av.Granja - Av. Central	76,9	15,2	7,9

8.8 Anexo H

Neste Anexo são apresentados de uma forma detalhada os gráficos das emissões poluentes e dos consumos de combustível médios, em relação a vários incidentes, nos dois sentidos de forma individual e em conjunto, em hora de vazio normal e em hora de ponta.

Sentido ALP – Estação

Hora de Vazio

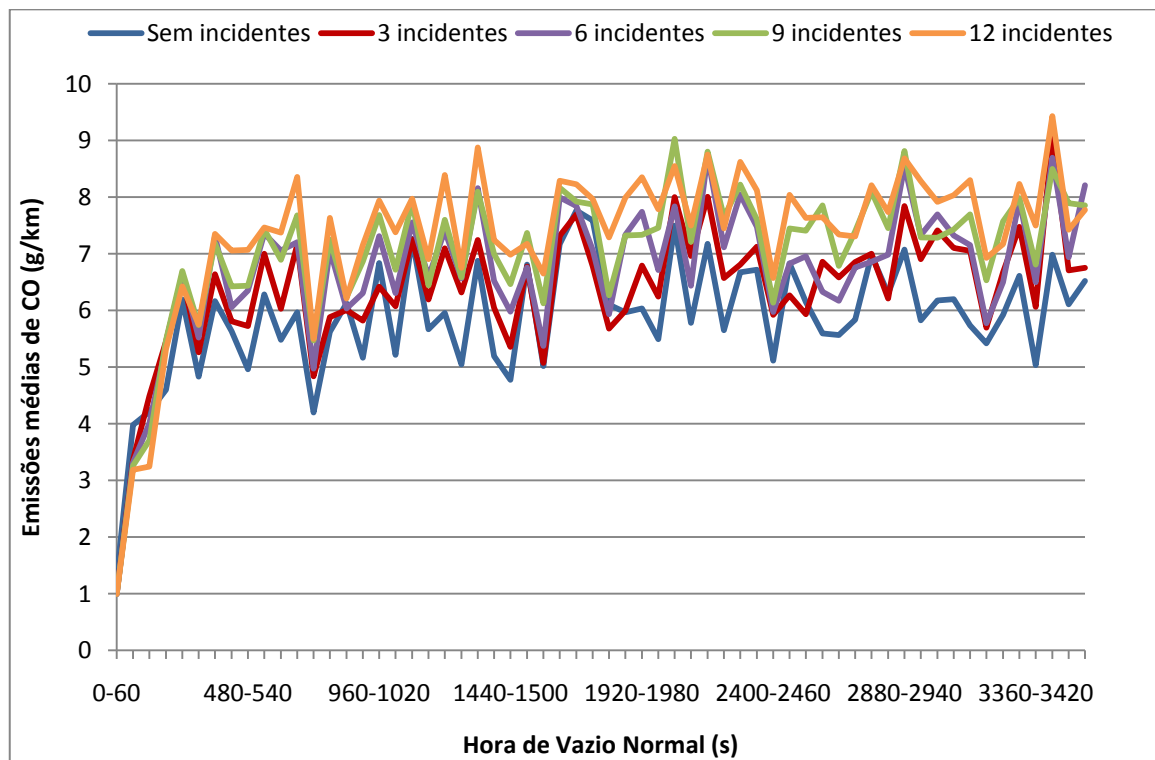


Figura 94 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

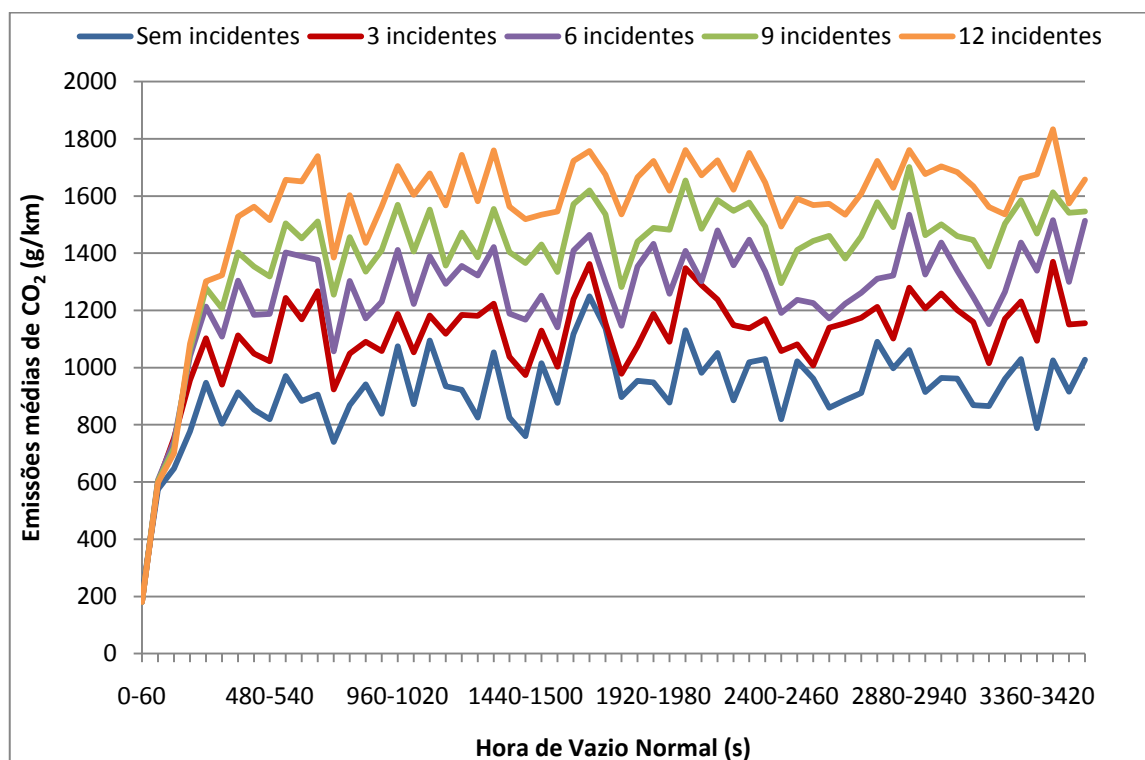


Figura 95 - Emissões médias de CO₂ com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

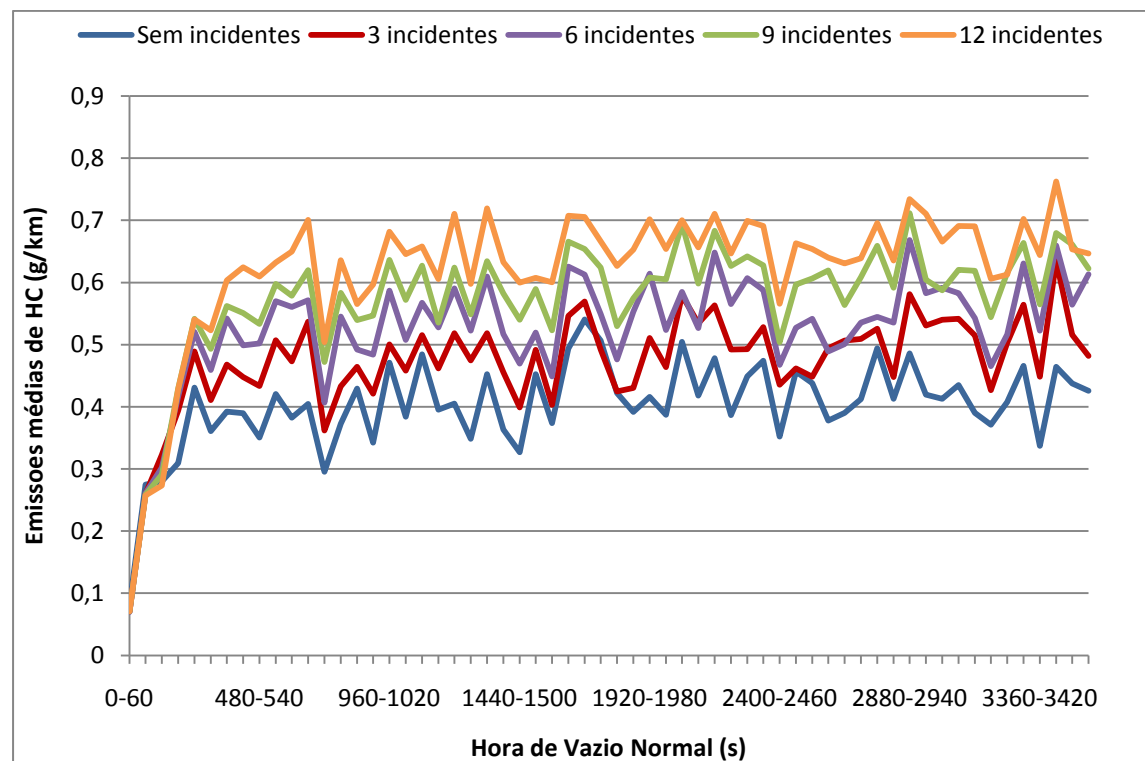


Figura 96 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

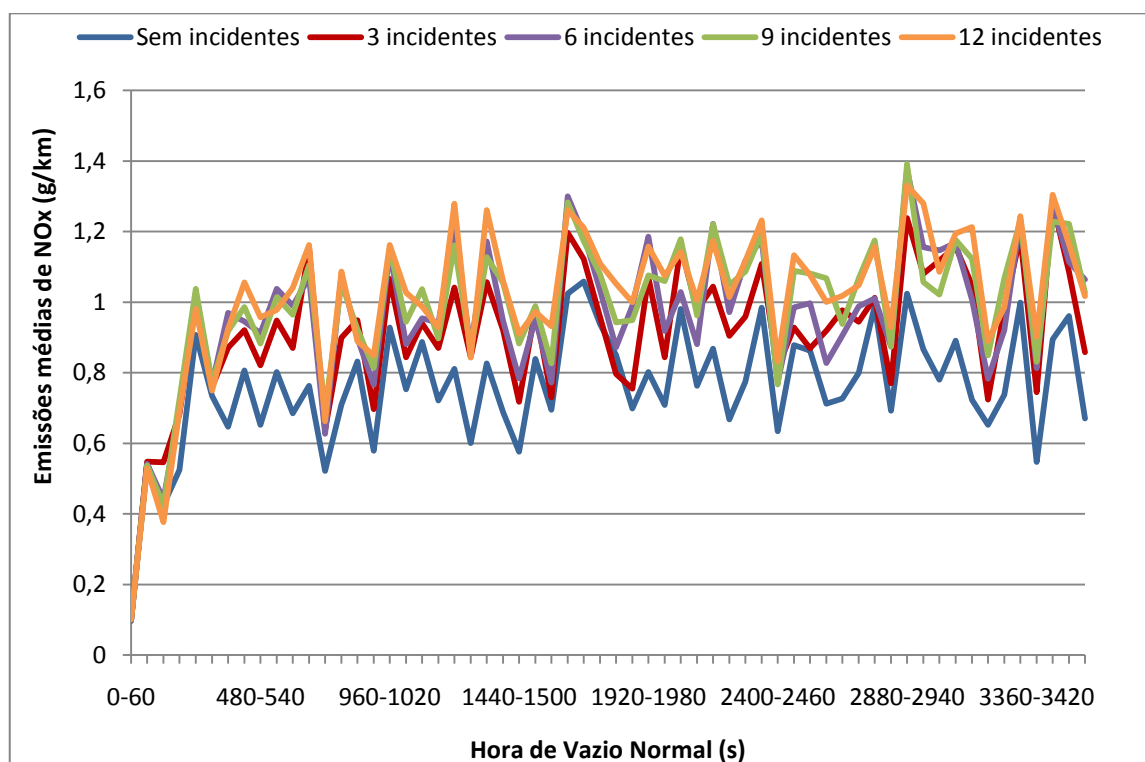


Figura 97 - Emissões médias de NO_x com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

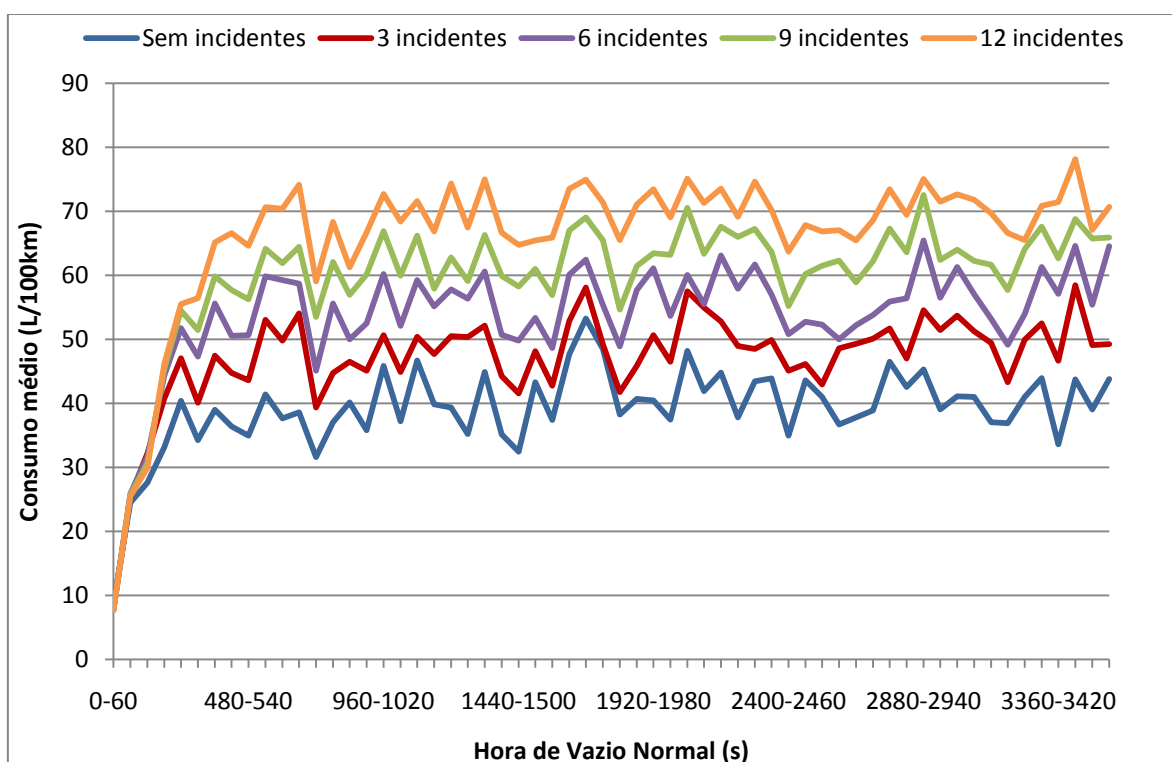


Figura 98 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

Hora de Ponta

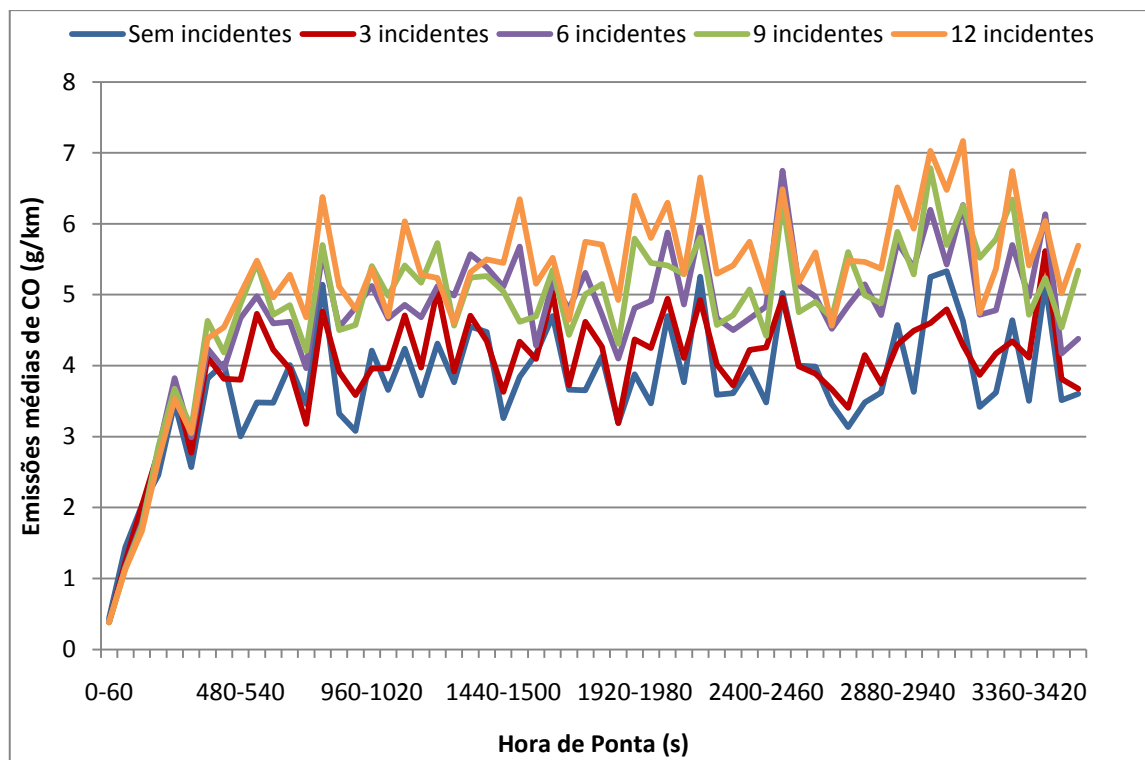


Figura 99 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de ponta.

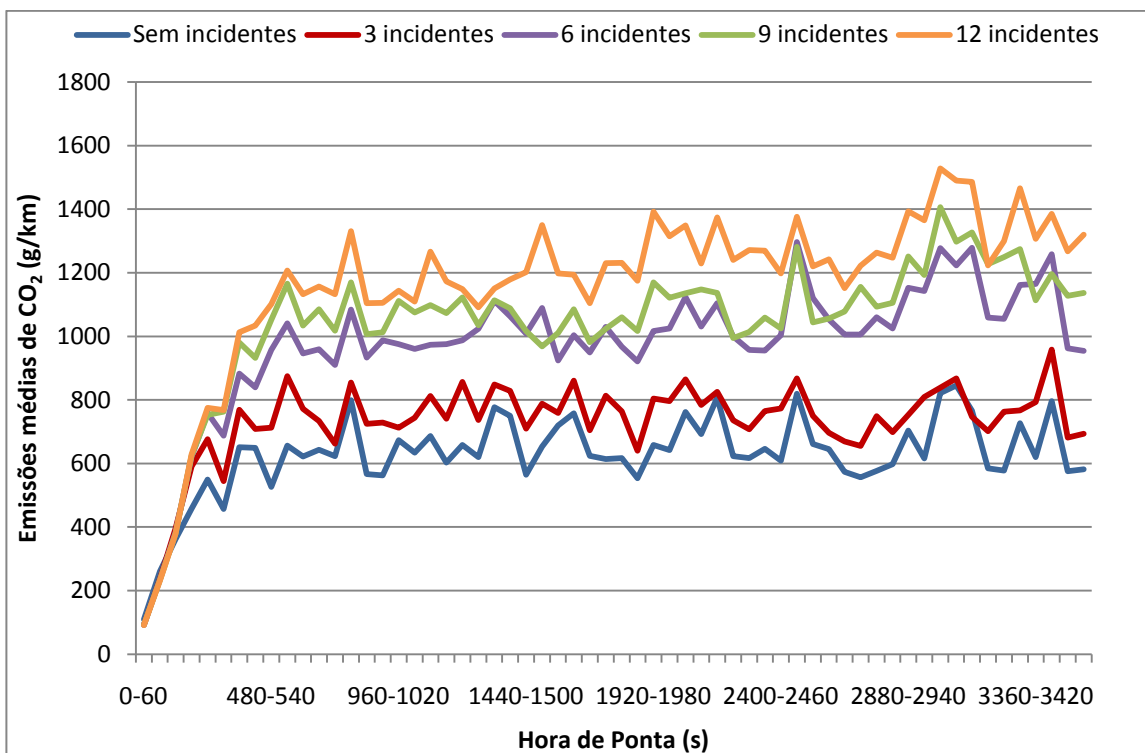


Figura 100 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de ponta.

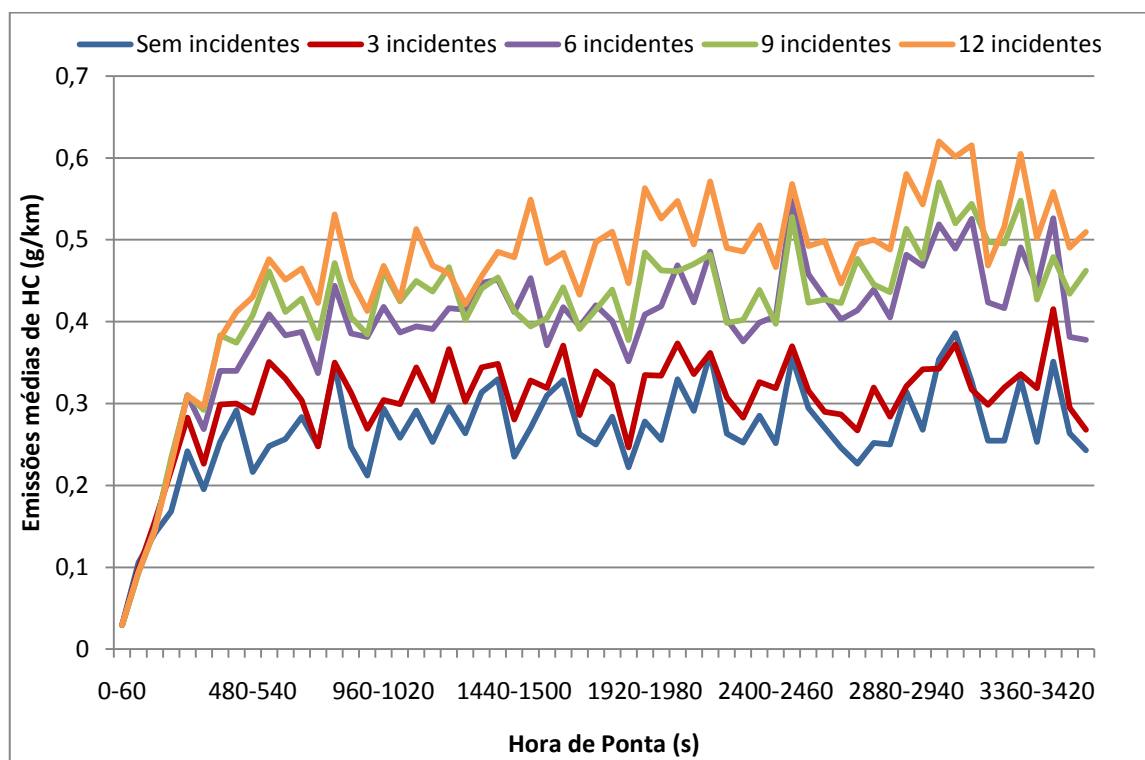


Figura 101 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de ponta.

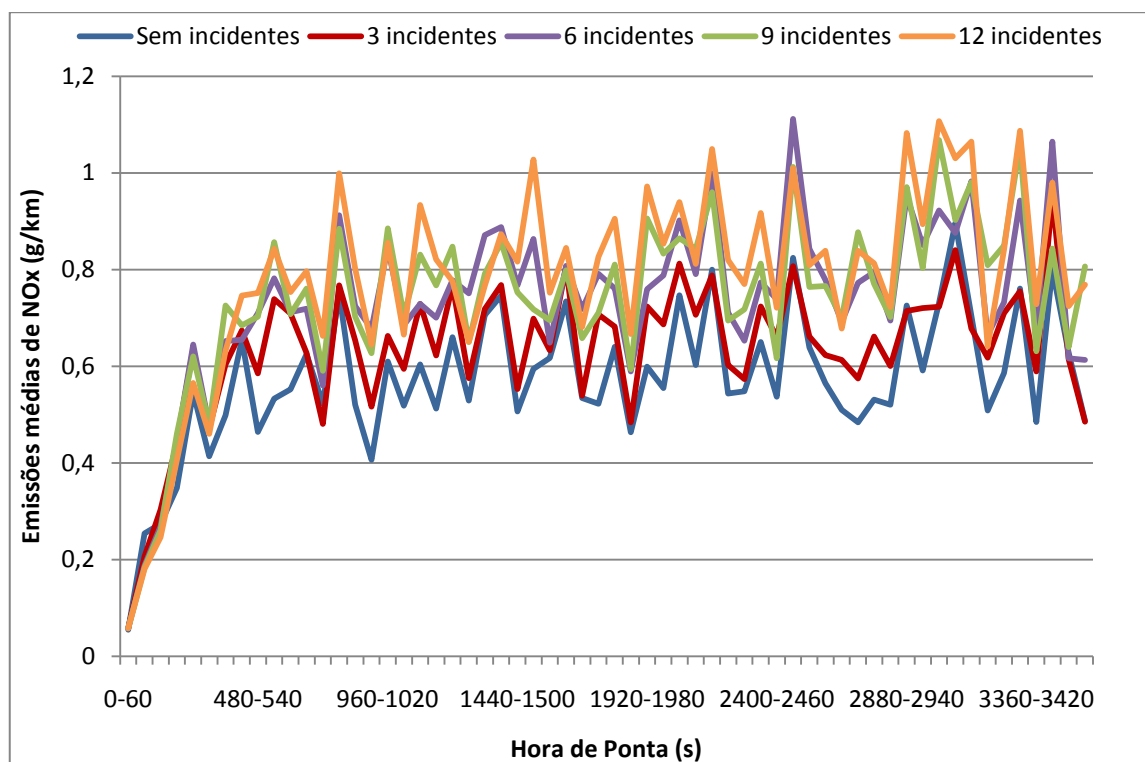


Figura 102 - Emissões médias de NO_x com vários incidentes representados na hora de ponta.

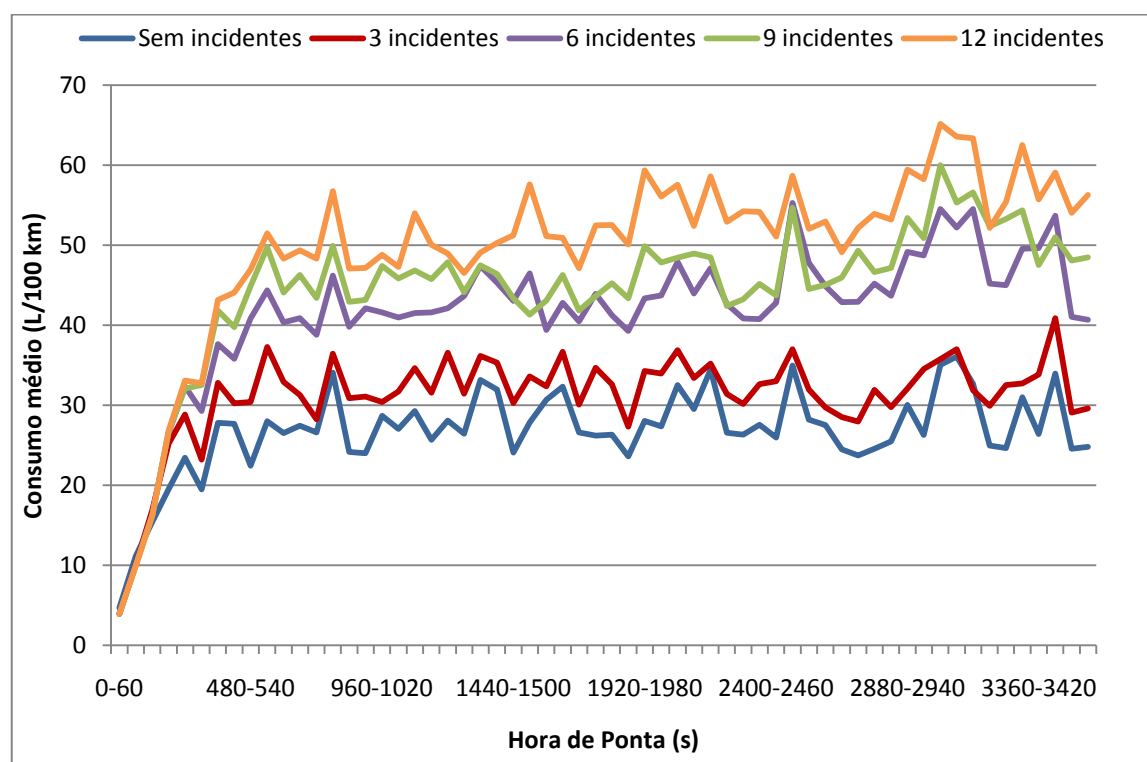


Figura 103 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de ponta.

Sentido Estação – ALP

Hora de Vazio

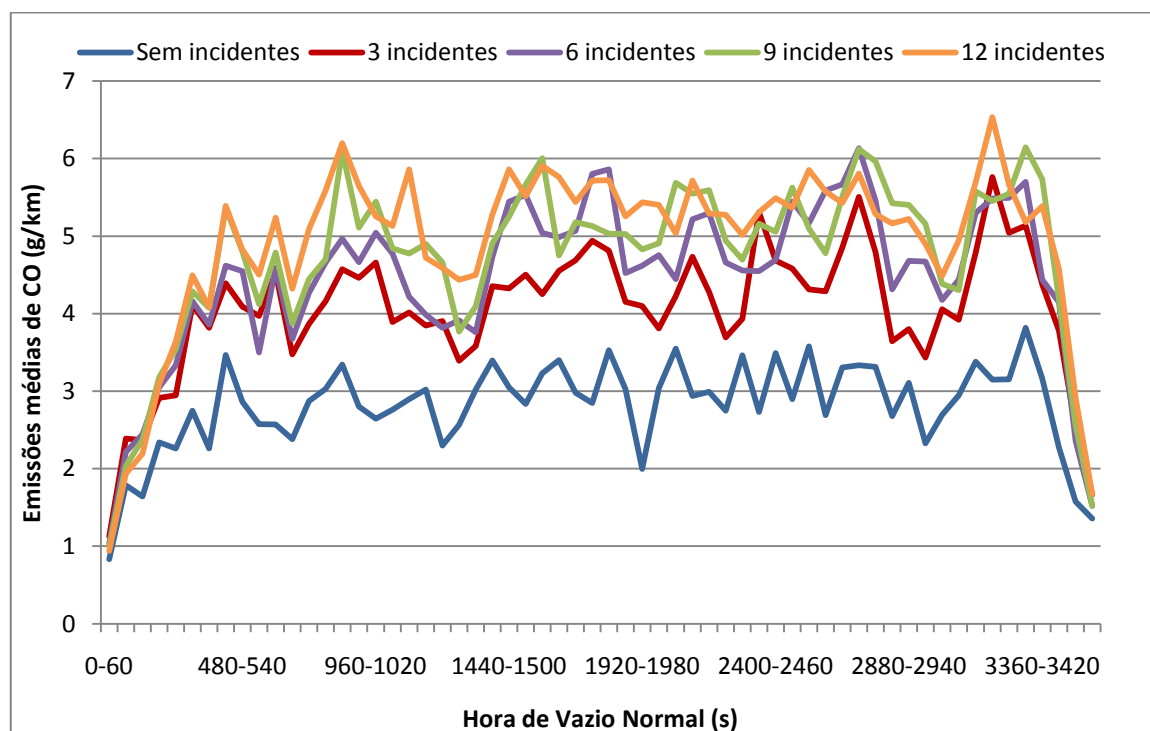


Figura 104 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

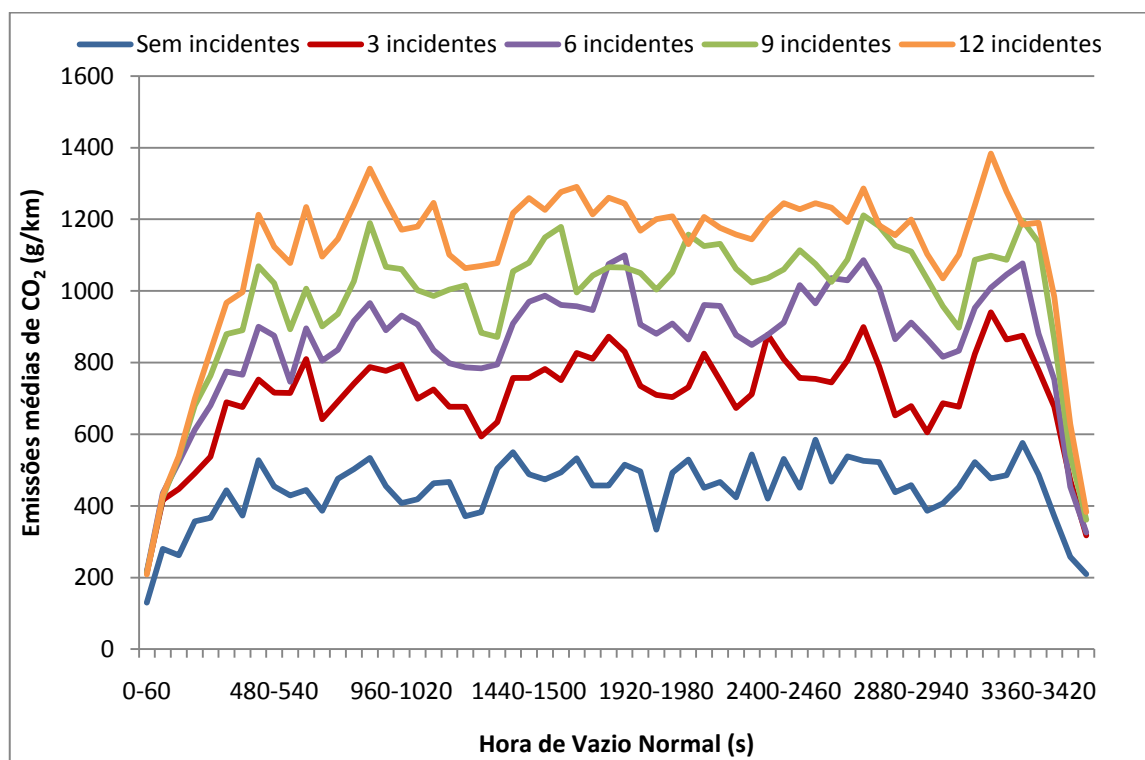


Figura 105 - Emissões médias de CO₂ com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

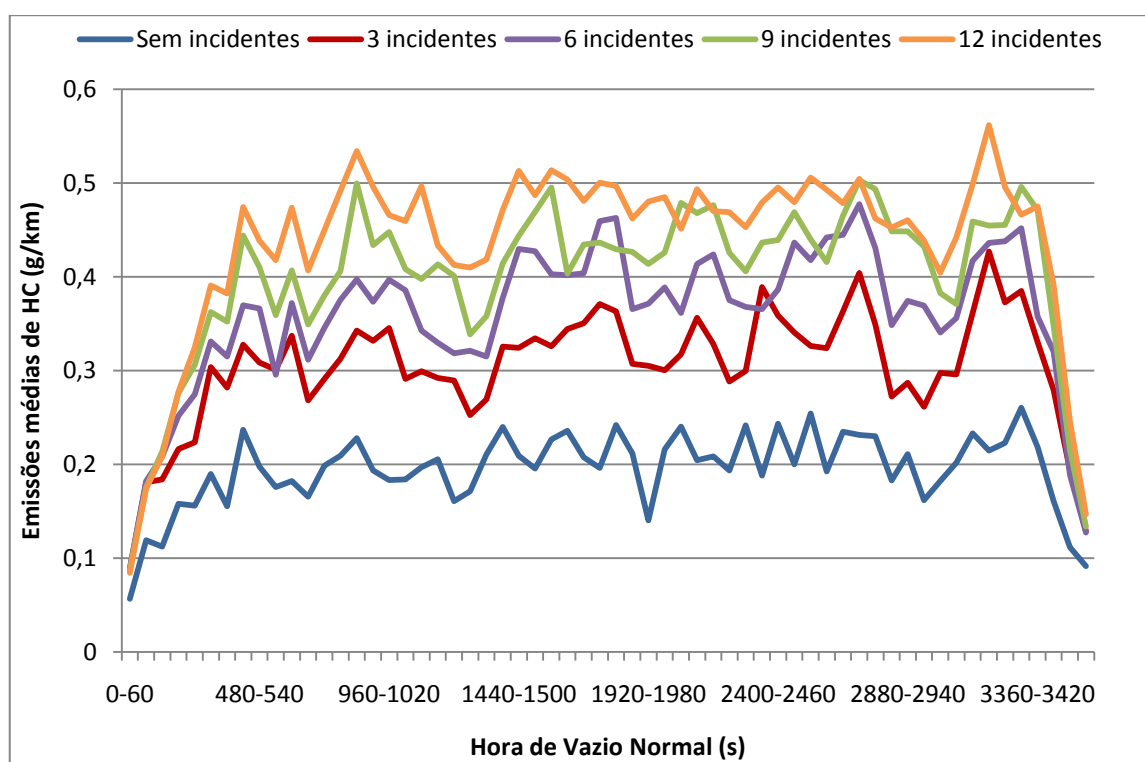


Figura 106 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

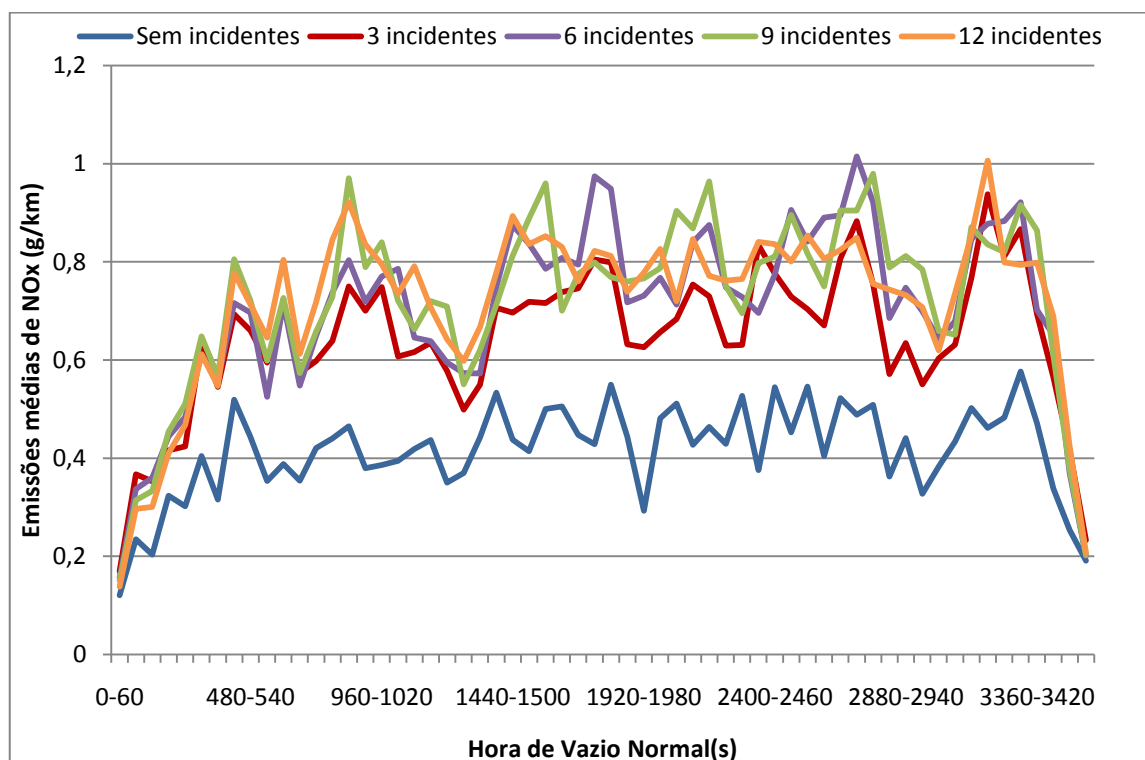


Figura 107 - Emissões médias de NO_x com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

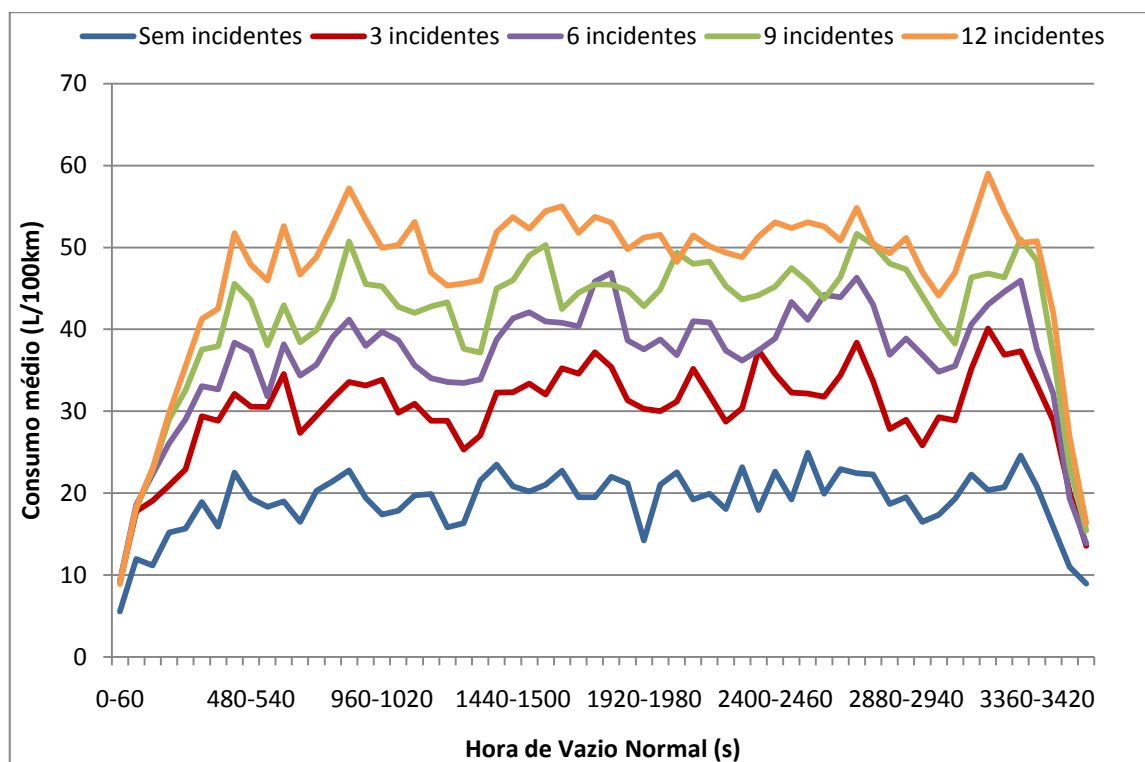


Figura 108 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

Hora de Ponta

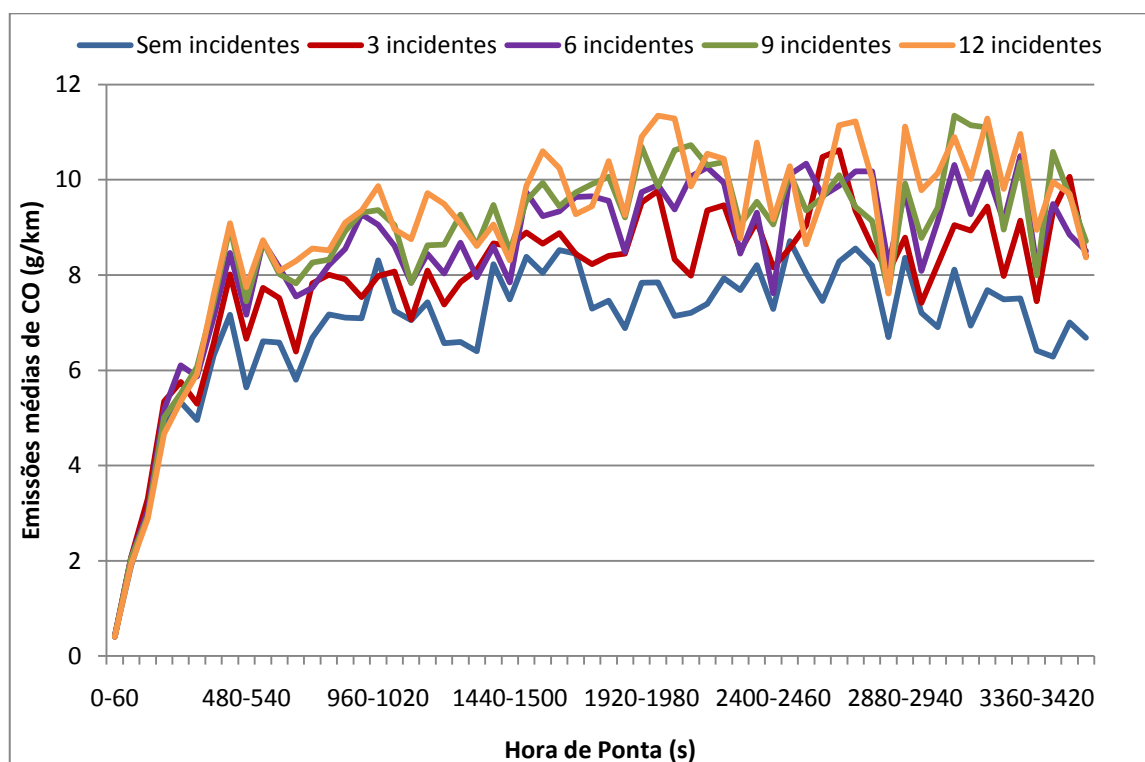


Figura 109 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de ponta.

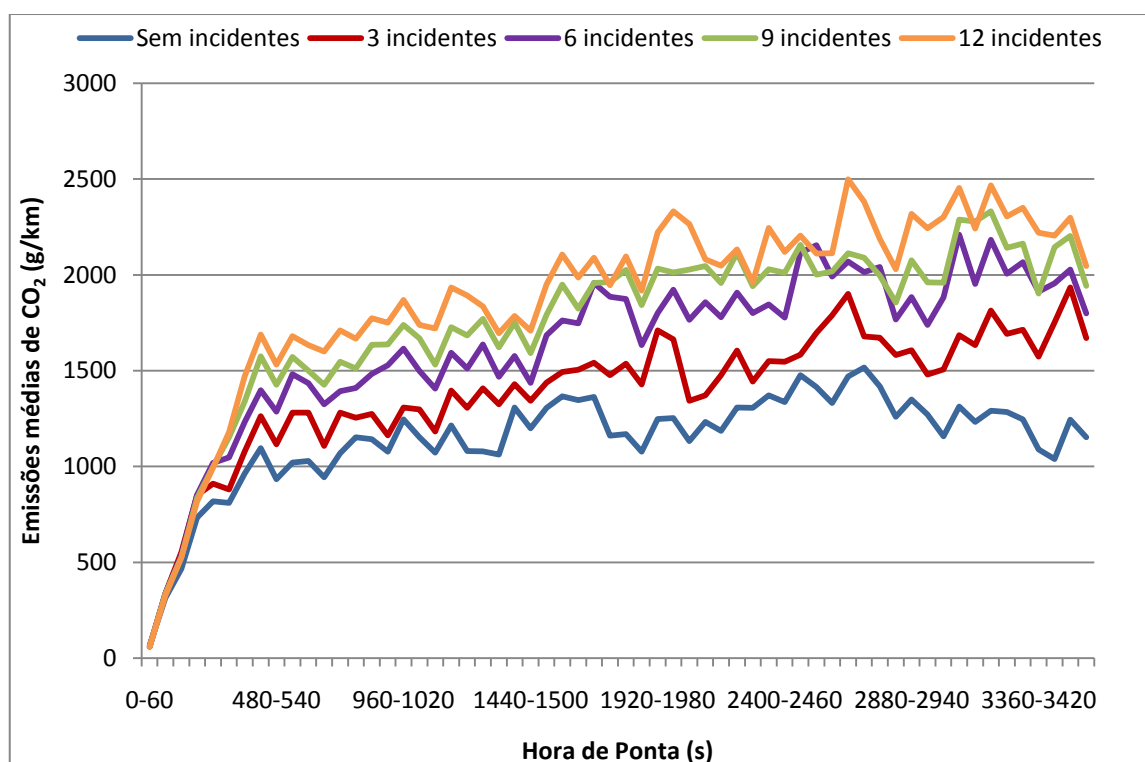


Figura 110 - Emissões médias de CO₂ com vários incidentes representados na hora de ponta.

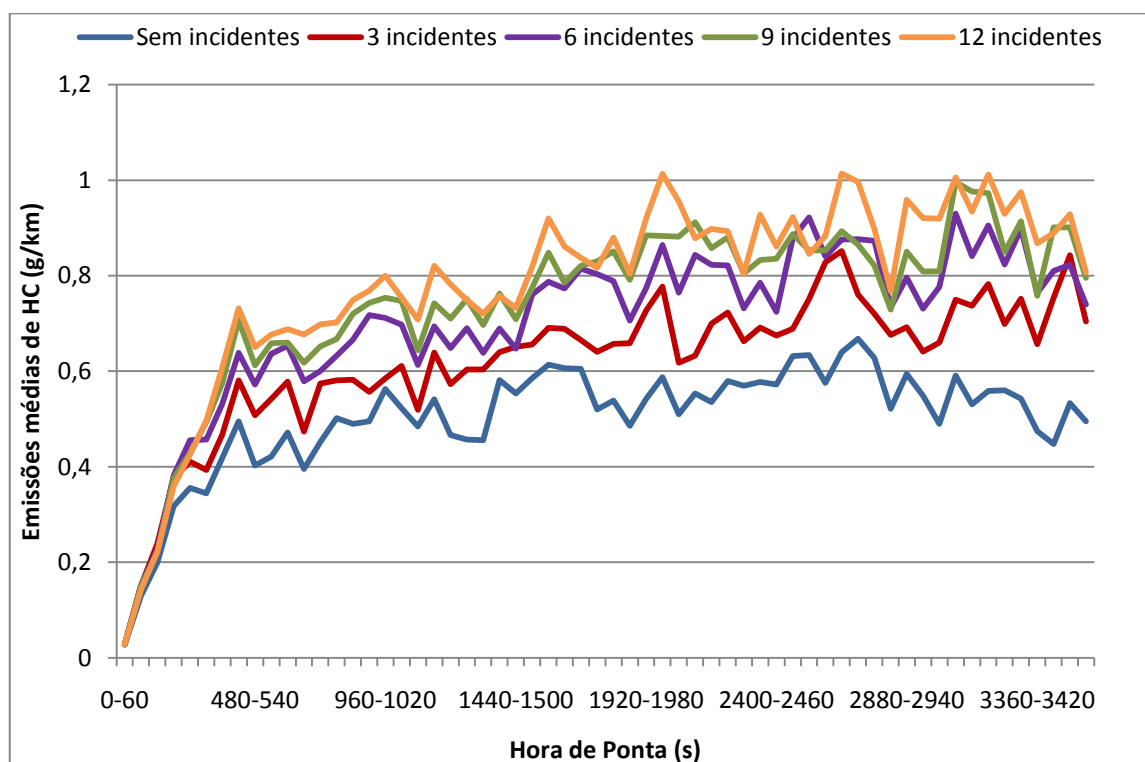


Figura 111 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de ponta.

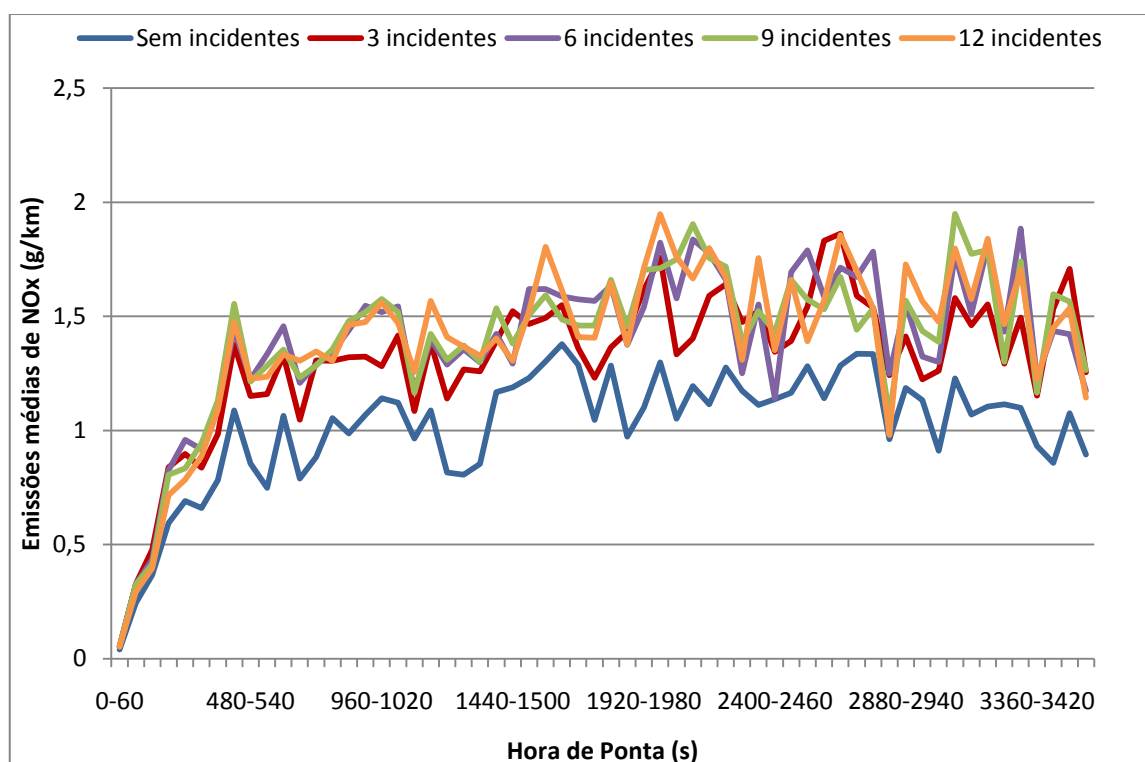


Figura 112 - Emissões médias de NO_x com vários incidentes representados na hora de ponta.

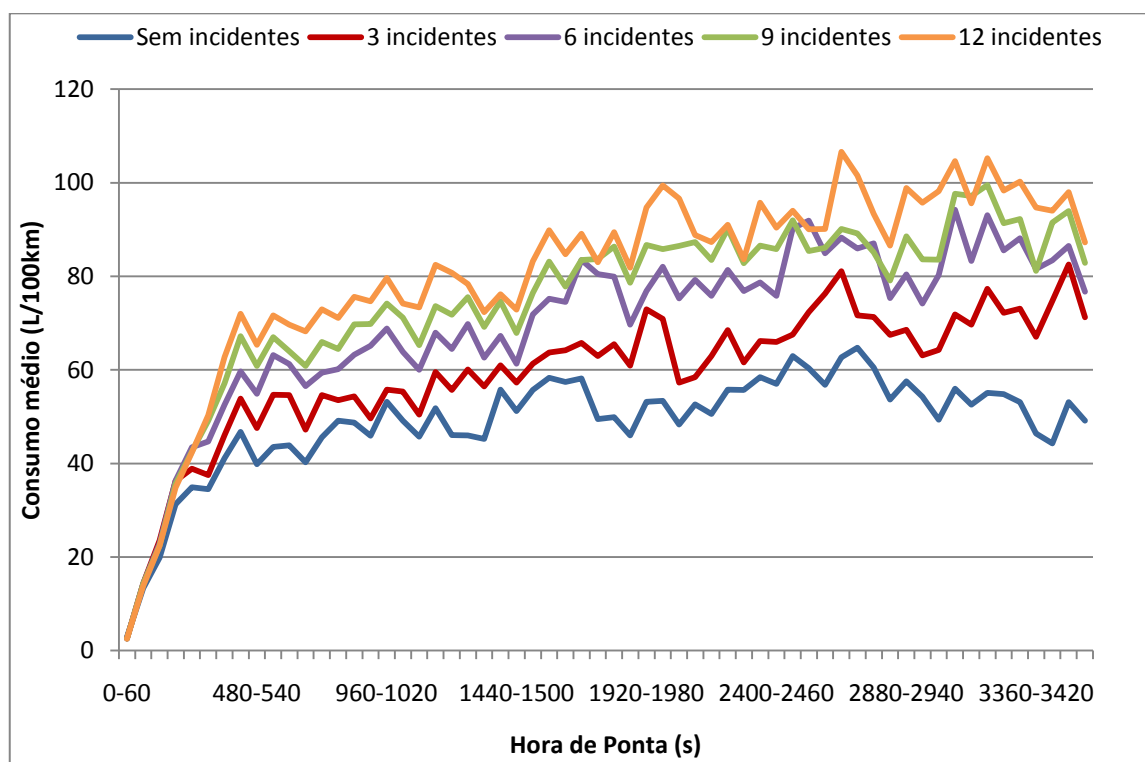


Figura 113 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de ponta.

Nos dois sentidos da ALP

Hora de Vazio

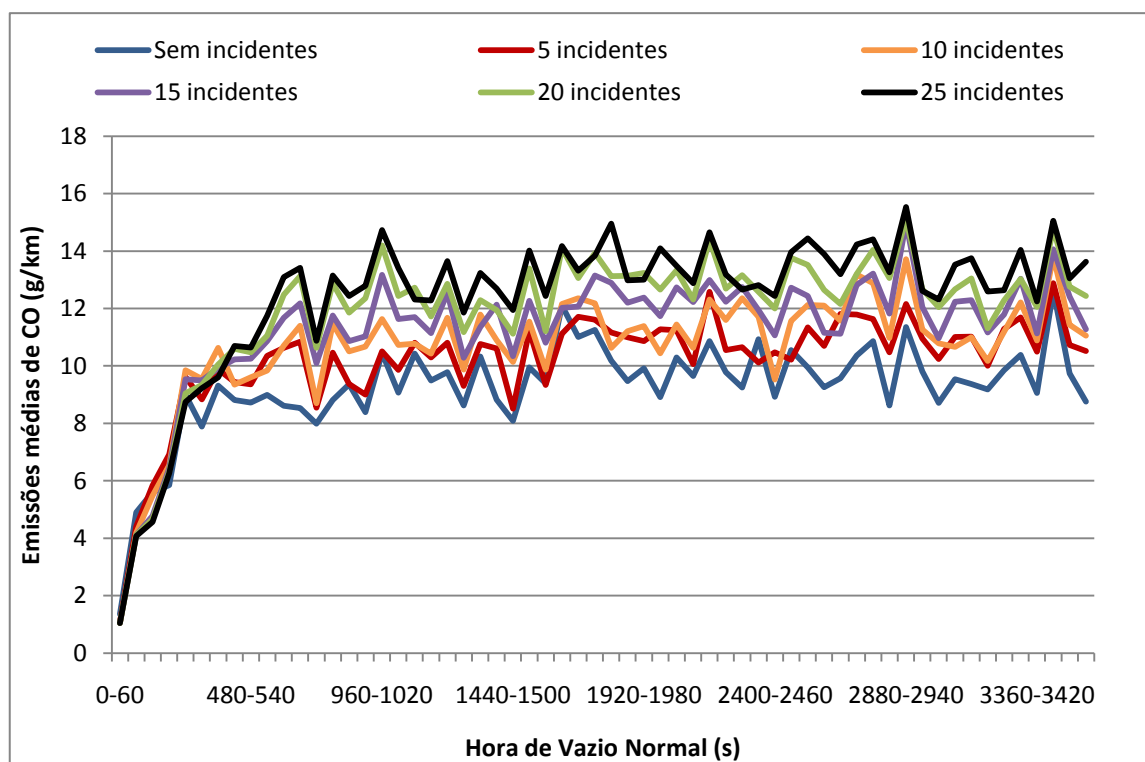


Figura 114 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

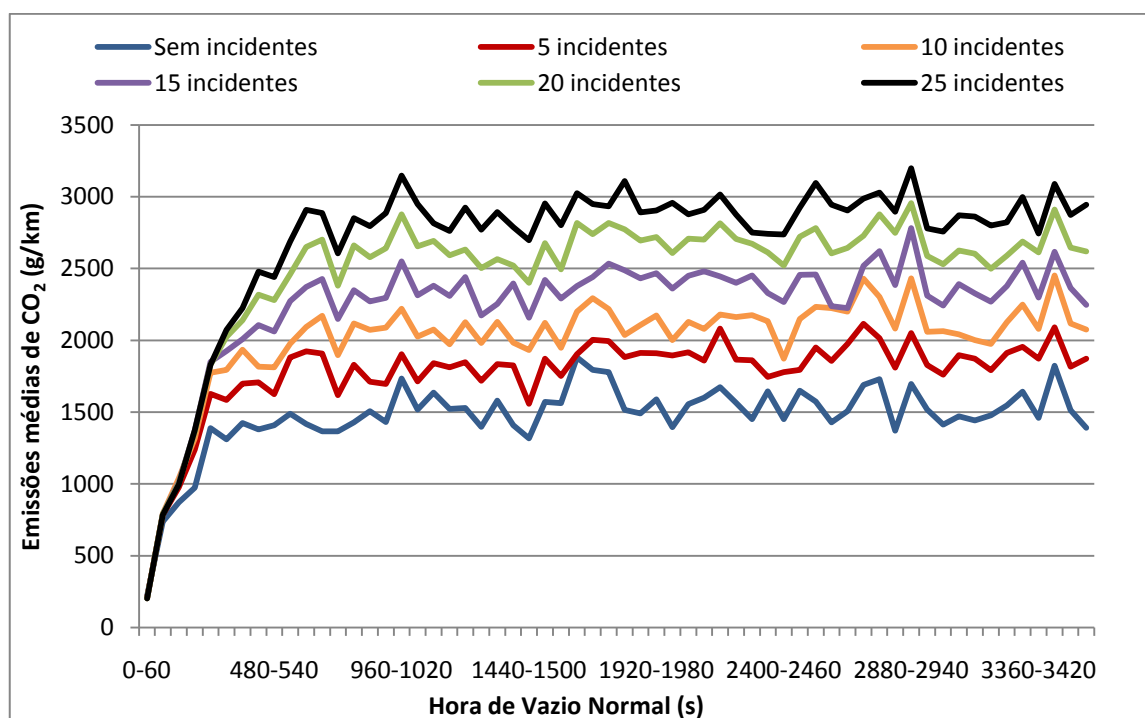


Figura 115 - Emissões médias de CO₂ com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

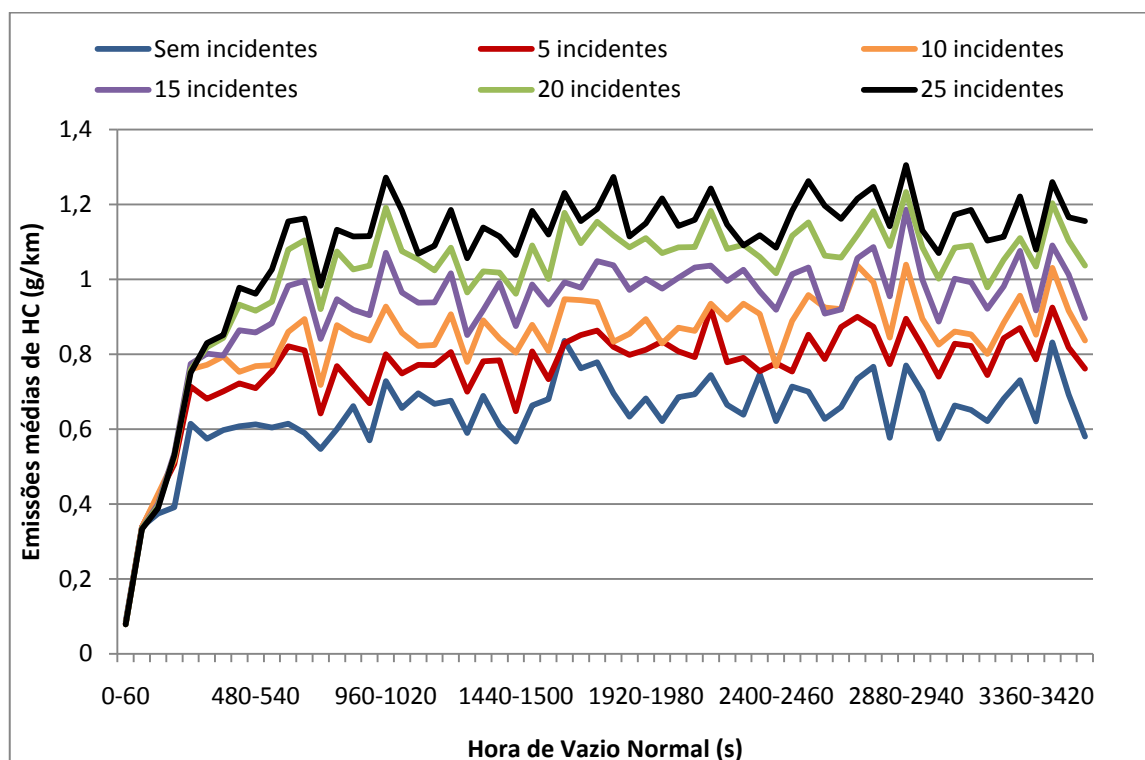


Figura 116 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

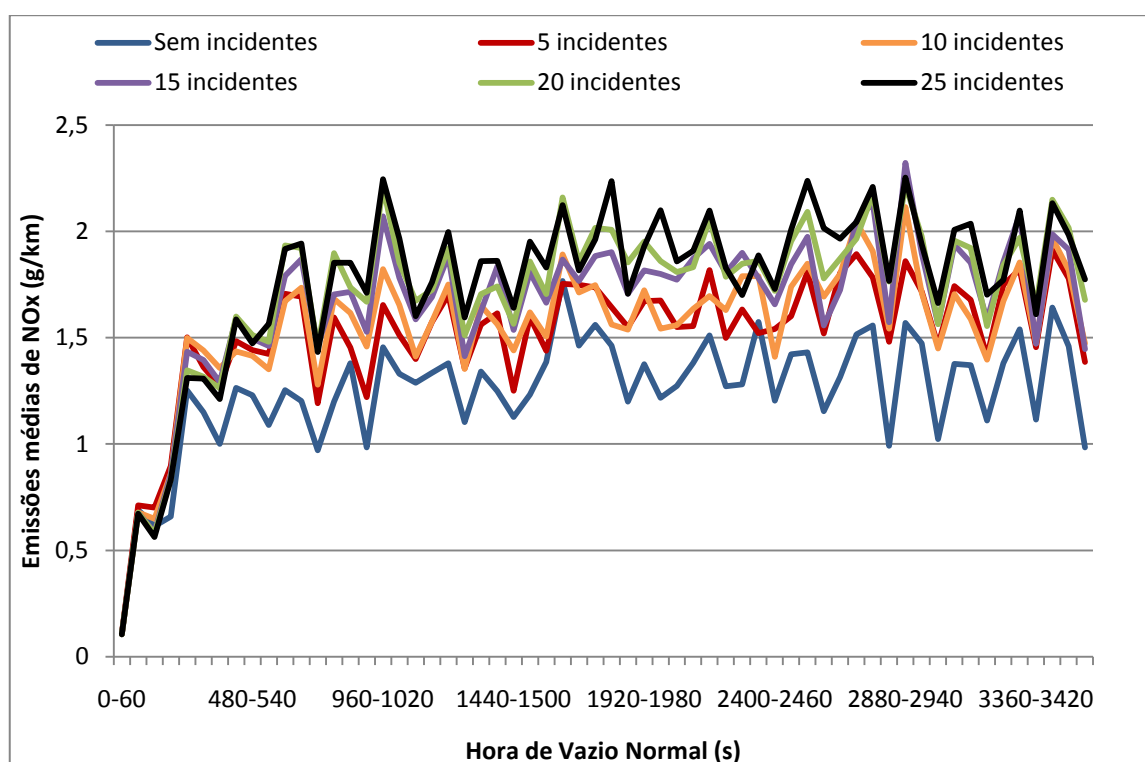


Figura 117 - Emissões médias de NO_x com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

Hora de Ponta

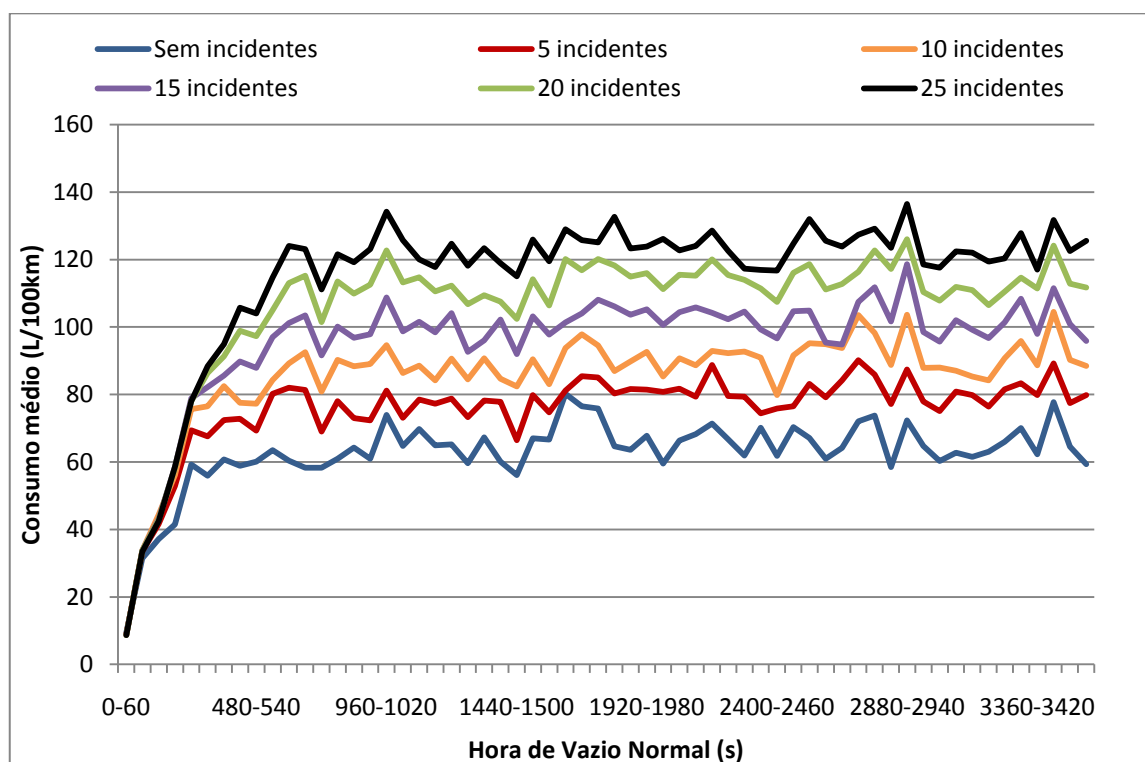


Figura 118 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de vazio normal.

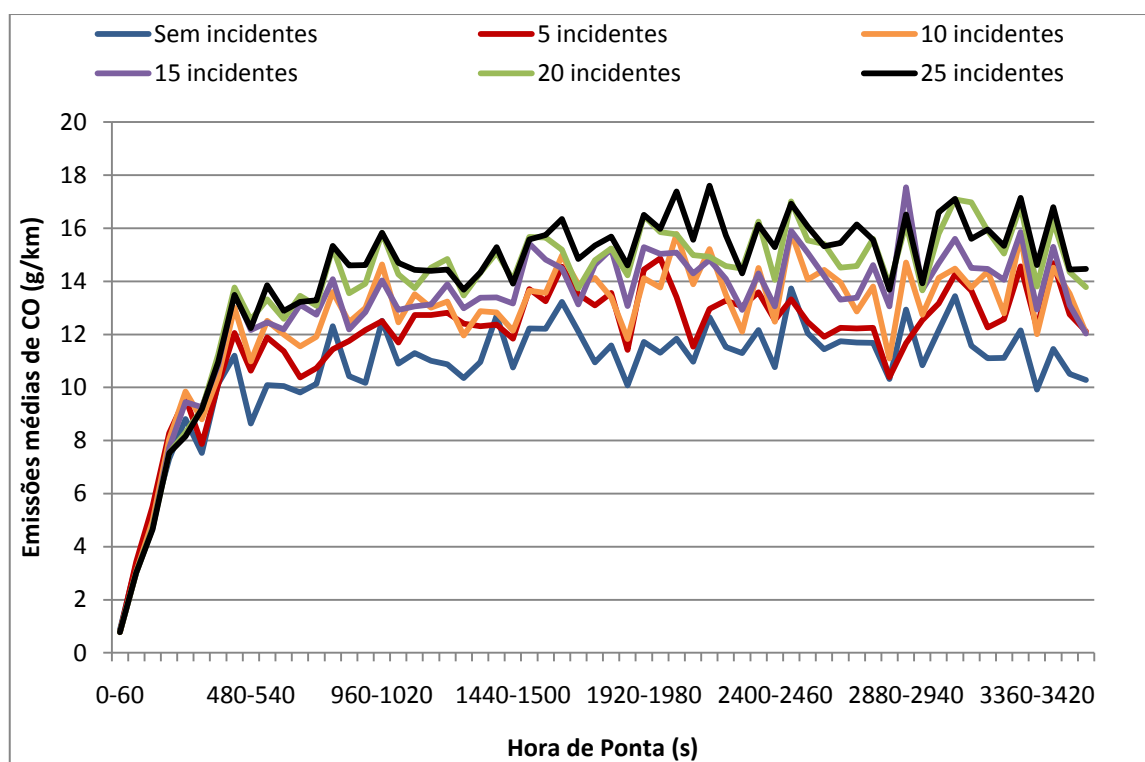


Figura 119 - Emissões médias de CO com vários incidentes representados na hora de ponta.

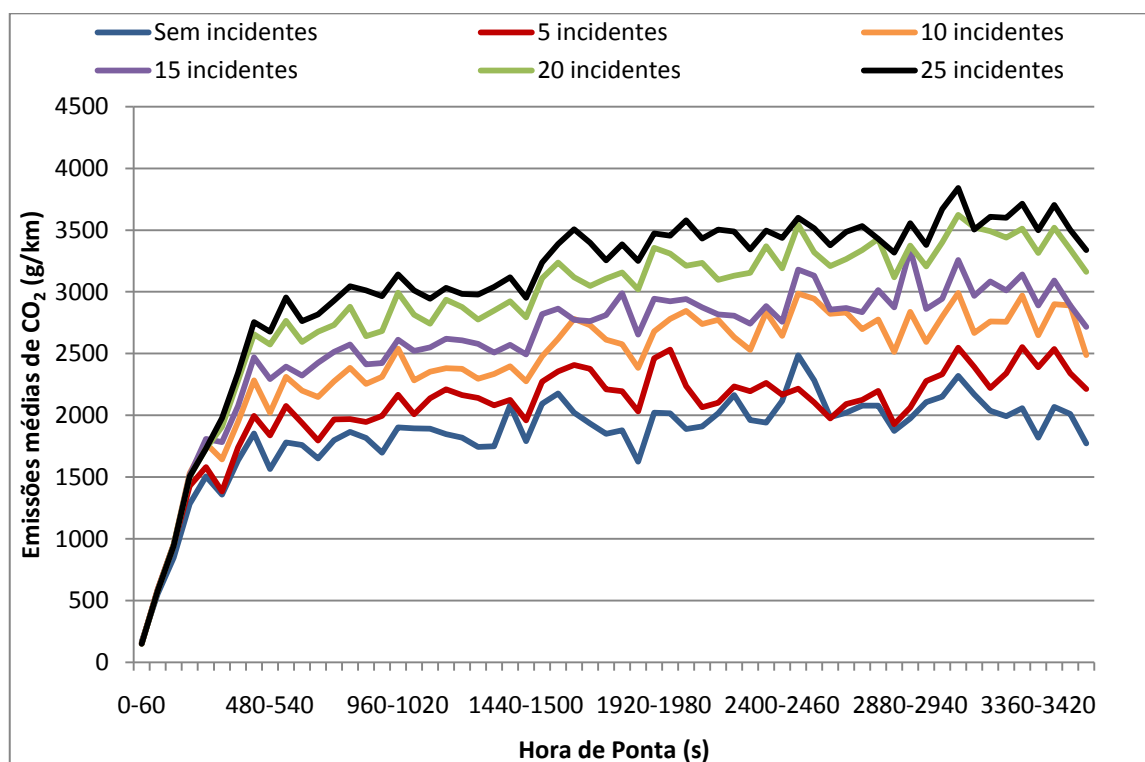


Figura 120 - Emissões médias de CO₂ com vários incidentes representados na hora de ponta.

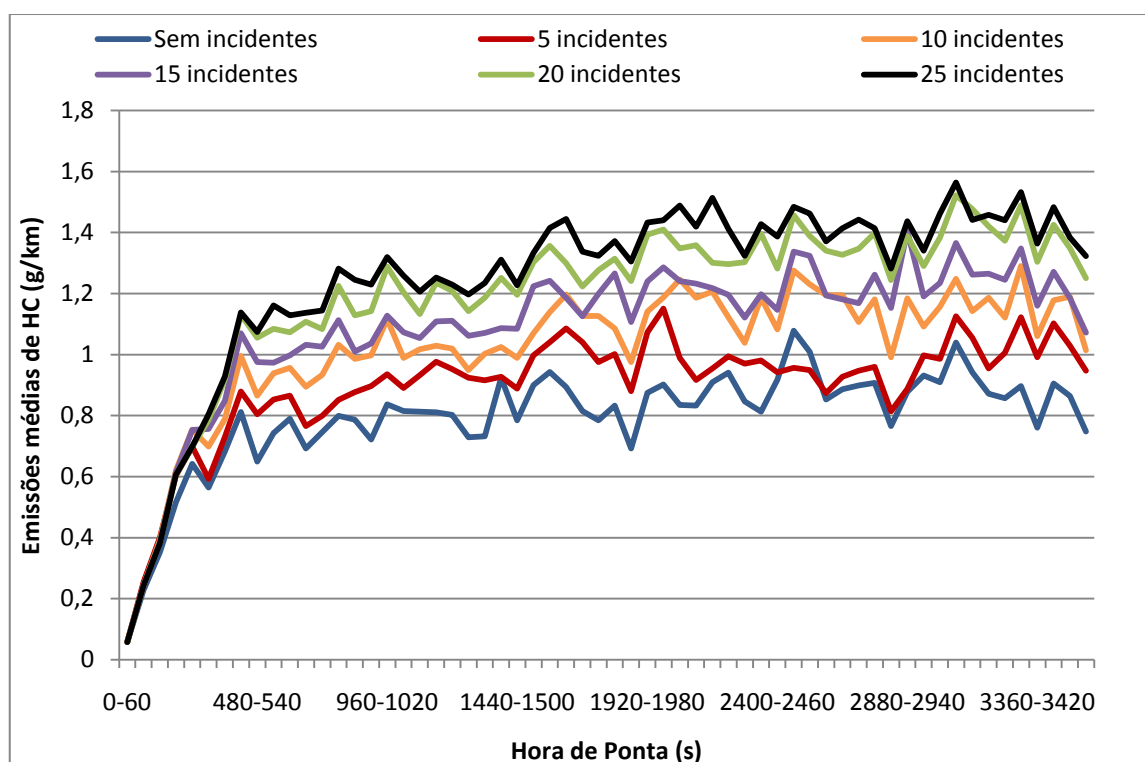


Figura 121 - Emissões médias de HC com vários incidentes representados na hora de ponta.

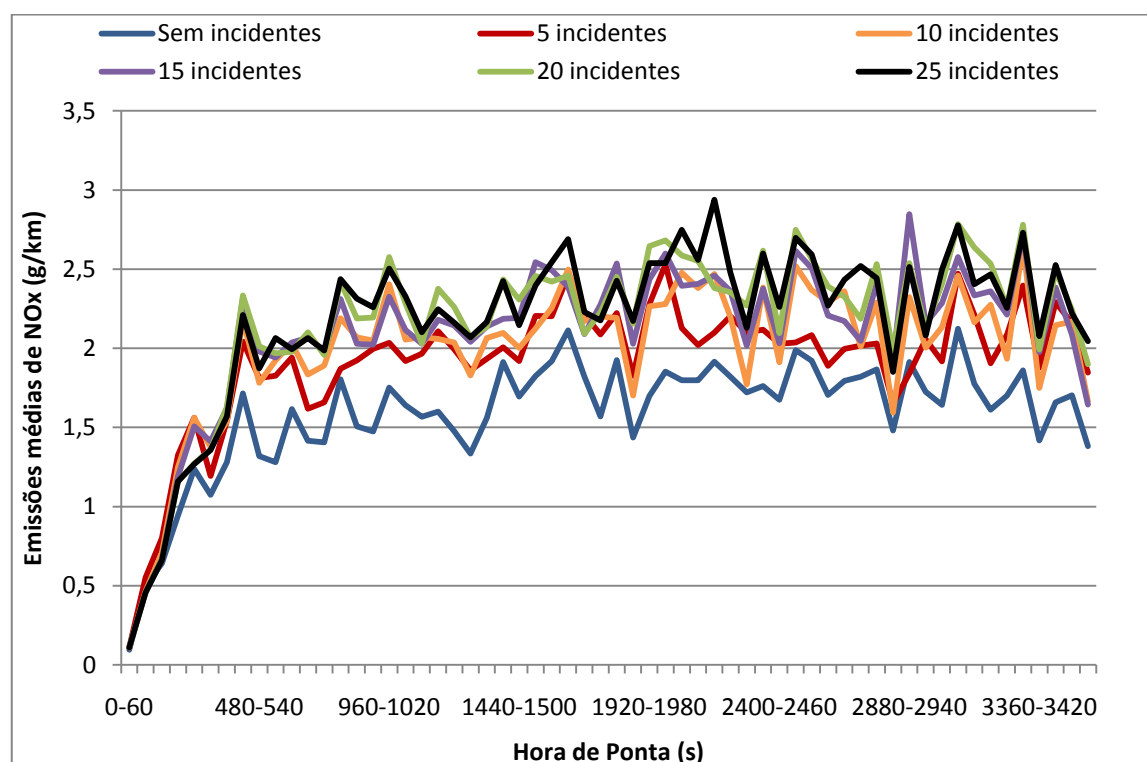


Figura 122 - Emissões médias de NO_x com vários incidentes representados na hora de ponta.

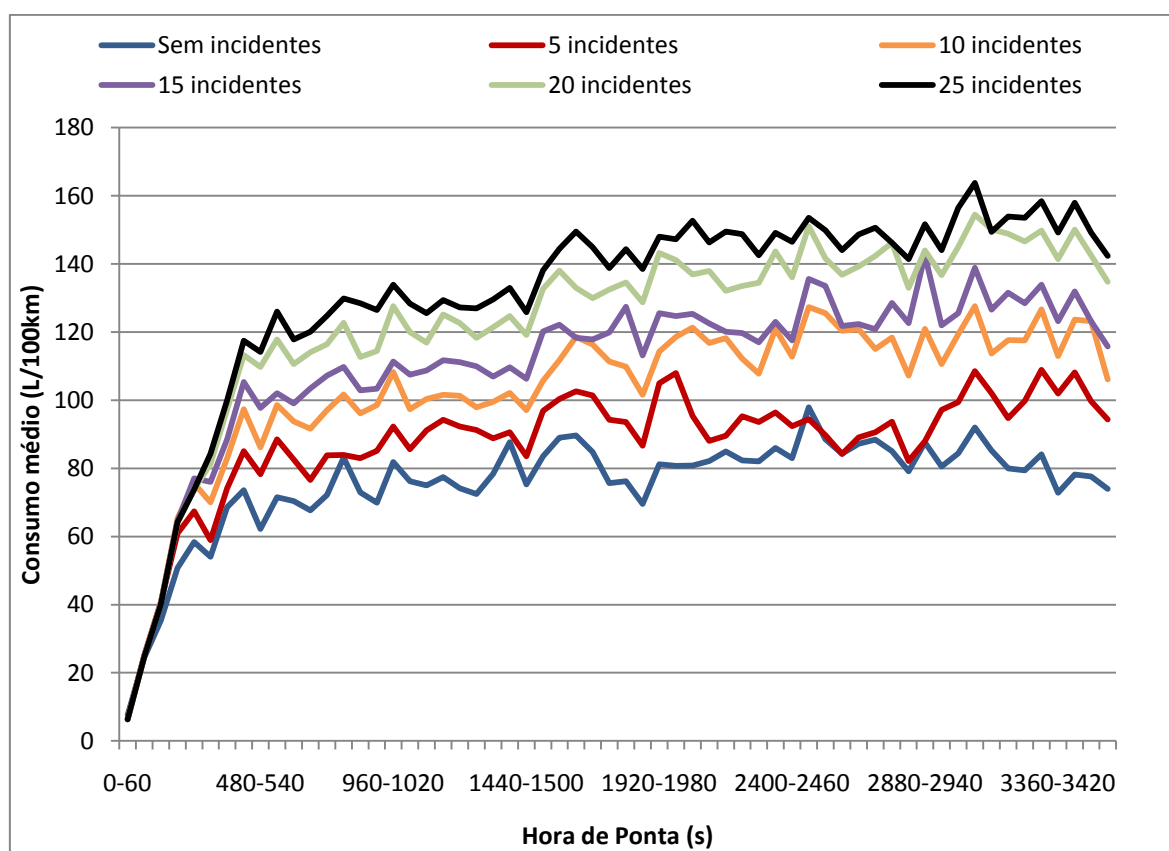


Figura 123 - Consumo médio com vários incidentes representados na hora de ponta.

